



18 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 30 359 A 1**

21 Aktenzeichen: 198 30 359.9
22 Anmeldetag: 7. 7. 1998
43 Offenlegungstag: 20. 1. 2000

51 Int. Cl.⁷:
G 01 D 21/02
G 01 B 21/04
G 01 C 19/64
G 01 P 9/04
G 12 B 21/20
G 06 F 3/00

DE 198 30 359 A 1

71 Anmelder:
Zwosta, Helge, 86399 Bobingen, DE

72 Erfinder:
gleich Anmelder

56 Entgegenhaltungen:

DE	44 11 218 C1
DE	40 27 990 C1
DE	36 01 536 C1
DE	34 06 179 C1
DE	196 32 273 A1
DE	44 34 666 A1
DE	44 22 886 A1
DE	44 15 419 A1
DE	35 27 918 A1
US	56 76 157
US	56 45 077
US	54 52 211
US	49 12 643
US	40 54 881
US	39 83 474
EP	02 11 984
WO	94 01 042 A1

JP 5-10774 A., In: Patents Abstracts of Japan,
P-1544, May 25, 1993, Vol. 17, No. 269;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt.

54 Räumliche Lage- und Bewegungsbestimmung von Körperteilen und Körpern, mittels einer Kombination von inertialen Orientierungs-Meßaufnehmern und Positionserfassungssensoren

57 Es werden Methoden zur Gewinnung von geometrischen Bestimmungsgrößen der räumlichen Lage- und Bewegung von Körpern und Körperteilen vorgestellt. Alle diese Methoden beruhen auf einer Kombination von inertialen Orientierungs-Messaufnehmern und Positionssensoren.

Die geometrischen Bestimmungsgrößen sind z. B. Position und Orientierung von Körper(teile)n, Körper(teil)punkte und Vektor-Repräsentanten von Körper(teile)n, Ursprung und Orientierung von Teilkoordinatensystemen.

Die inertialen Orientierungs-Messaufnehmer (auch Gyro genannt) können auf dem Kreisel-, Vibrationsgyro- oder dem Fibergyroprinzip beruhen.

Die Ausgestaltung der Positionssensoren kann sich unterschiedlichster Methoden, wie Ultraschall, Feldstärkemessung, optischen Abstands- Abbildungs- oder Triangulations-Prinzipien bedienen.

198 30 359 A 1

Beschreibung

Eine Vielzahl von Anwendungen wie:

- 5 Fernsteuerung von Maschinen und Instrumenten durch menschliche Gliedmaßen, Lage und Bewegungskontrolle von Maschinen und Robotern, Bewegungskontrolle von Sportlern und in Rehabilitation befindlichen Patienten, Interaktion von Menschen mit virtuellen Umgebungen (Cyberspace), Umwandlung von Körperbewegungen in Musik und Lichteffekte (Entertainment), Erfassung von menschlichen Bewegungsabläufen im Produktionsprozess, Training von komplexen manuellen Tätigkeiten, Lage- und Bewegungskontrolle von Fertigungsteilen im Raum usw., stellt die Aufgabe der Positionserfassung von Körperstellen, der Lagebestimmung von Körperteilen und Körpern, sowie deren Bewegungserfassung im Raum.

1) Stand der Technik und Nachteile

- 15 Die genannte Aufgabe wird derzeit im Sinne der Erfassung von menschlichen Körperbewegungen unter den Begriffen "Motion capture" (= Bewegungserfassung) oder "Body tracking" (= Spurverfolgung von Körperteilen mit nachfolgenden Methoden) gelöst.

1.1) Magnetfeldmethoden

- 20 Die Lagebestimmung von Körperteilen mittels Magnetfeldern ist eine sehr häufig eingesetzte Methode. Es sei hier auf die Produkte der US-Firmen Polhemus Inc., Colchester, Vermont und Ascension Technology Corporation., Burlington, Vermont verwiesen.

Magnetfeldmethoden der genannten Firmen haben folgende Nachteile:

- 25
- Störanfälligkeit gegenüber Umgebungseisen und Fremdfelder
 - eingeschränkter Erfassungsbereich, weil die Messgenauigkeit mit dem Abstand sinkt
 - aufwendige und zeitraubende Sensorjustage.

1.2 Mechanische Gestänge und Gestelle

Am Körper befestigte Gestänge erfassen die Winkel von Körpergelenken.

Hier sei auf die Produkte der US-Firma Analogus Company, San Francisco, Californien verwiesen.

Bei dieser Lösung sind u. a. folgende Nachteile zu nennen.

- 35
- Die Gestänge sind für den Träger nicht komfortabel
 - Das Anlegen des Gestänges ist sehr zeitraubend
 - Eine Orientierungs- und Positionsangabe eines Einzelgliedes erfordert das Anlegen des gesamten Gestänges und liefert nur indirekte Gelenkwinkelgrößen.

1.3) Kameraerfassung

- Die Bewegungserfassung des menschlichen Körpers mit Kameras wird ebenfalls sehr häufig eingesetzt. An signifikanten Körperstellen werden hierbei reflektierende Markierungen angebracht und deren Bewegungsverlauf von mindestens zwei Kameras aufgezeichnet und somit ihre räumliche Position berechnet. Dieses Verfahren dient in erster Linie der Erfassung eines kompletten Mehrgelenkkörpers.

Hier sind folgende Nachteile zu nennen

- 50
- Die Lagebestimmung eines einzelnen Körperteiles erfordert wie beim Gestänge die Erfassung aller übrigen Gelenke
 - Beschränkter Erfassungsbereich, da die optischen Abbildungsgesetze gelten (Tiefenschärfe)
 - Verdeckung durch den eigenen oder fremde Körper
 - Genauigkeit sinkt mit dem Abstand.

1.4) Ultraschall

Ultraschall wird in der Medizin und Sportphysiologie zur Erfassung von Bewegungsabläufen des menschlichen Körpers eingesetzt. Der Abstand wird aus der Laufzeit eines Ultraschallimpulses bestimmt. Nachteile sind:

- 60
- Die Orientierungsbestimmung einzelner Körperteile erfordert pro Körperteil drei Ultraschallsensoren, so daß für diese Aufgabe eine Unzahl von Sensoren an einem mehrgelenkigen Körper angebracht werden müßten, was wiederum ein hohes Ausmaß an Signalorganisation (Multiplexing) und Codierung notwendig machen würde
 - Abschattung von Ultraschallimpulsen bei mehrgliedrigen Körpern

1.5) Kombination aus inertialen Orientierung-Messaufnehmer und Ultraschall

InterSense Inc., Burlington, Massachusetts bietet derartige Systeme für die Erfassung der Orientierung und der Position von Körper(teile)n an mit ausschließlich körperexternem Bezug (Koordinatensysteme) an. Dadurch bestehen die Nachteile:

- Die Erfassungsgenauigkeit von Details sinkt mit dem Abstand von der Bezugstelle
- Die Anwendung ist auf einen kleinen Bereich zumeist in geschlossenen Räumen beschränkt
- Bei Anwesenheit mehrerer Personen im Erfassungsbereich kann es zu Verdeckungen bzw. Abschattungen zwischen Körper(teile)n und Referenzstellen oder gegenseitiger Beeinflussung der Sensoriken kommen.

Anmerkung

Im folgenden Text wird anstatt der Bezeichnung "inertiale Orientierungs-Messaufnehmer" meist der Begriff Gyro verwendet, wenn es nicht notwendig erscheint die abstrakte Funktionalität besonders hervorzuheben. Der Begriff Gyro ist heute internationaler Standard. (s.a. Definitionen und Begriffserklärungen)

2) Lagebestimmung eines Körpers im Raum, mittels 3-Achs-Gyro und Positionserfassung

Vorbemerkung: Unter "räumliche Lage" eines Körpers oder Körperteiles ist seine Position (Koordinaten eines ausgewählten Punktes) und die Orientierung (Winkelage zu einem Bezugssystem) zu verstehen. An einem Körper sei eine Positionssensorik und ein 3-Achs-Gyro (künftig mit 3A-Gyro abgekürzt) angebracht (eine Beschreibung über Gyroausführungen folgt). Durch die Erfassung der Position eines definierten Körperpunktes $K (= p_K(x_K, y_K, z_K))$ und der drei Gyrowinkel ϕ, ψ, χ ist die räumliche Lage (s. Definition) eines Körpers völlig bestimmbar. Fig. 1 zeigt einen fest mit dem Körper 1.0 verbundenen 3A-Gyro 1.1 welcher die 3 Winkel ϕ, ψ, χ relativ zu seinem Ausgangszustand mißt (z. B. als Zeitintegral der Winkelgeschwindigkeitskomponenten bei Verwendung eines Fiber- oder Vibrationsgyros). Die Winkel sind in der Ausschnittsvergrößerung Fig. 1a dargestellt. Diese drei gemessenen Winkel ϕ, ψ, χ geben allerdings keine gute Vorstellung über die Orientierung des Körpers 1.0. Anschaulicher beschrieben wird die Orientierung des Körpers 1.0 durch die Angabe von Vektoren \hat{p}_1 oder Einheitsvektoren e_u, e_v, e_w , des durch die Gyroachsen definierten Teilkoordinatensystemes T1 relativ zum Bezugssystem B0 (x, y, z). Die Umrechnung der Gyrowinkel ϕ, ψ, χ in die 9 Kosinus der Winkel zwischen Bezugs- und Teilkoordinatensystem ist der einschlägigen Literatur zu entnehmen. (s. unten). Die Kombination von Positions- und Orientierungserfassung ermöglicht nun die Durchführung folgender Aufgaben:

Aufgabe 1

Die Definition der räumliche Lage des Körpers durch Angabe

- der Position eines festen Körperpunktes K und entweder
- der Orientierung der Einheitsvektoren der Gyroachsen e_u, e_v, e_w oder
- der Orientierung der Körperachsen durch deren Einheitsvektoren e_ξ, e_η, e_ζ .

Aufgrund der als bekannt vorausgesetzten räumlichen Anordnung des Gyros 1.1 (Achsen u, v, w) relativ zu den Körperachsen ξ, η, ζ ist eine Transformation der durch Messung ermittelten Gyroorientierung in die Körperorientierung möglich. Vorzugsweise wird man die Körperachsen ξ, η, ζ durch dessen Hauptträgheitsachsen repräsentieren.

Aufgabe 2

Definition der räumlichen Lage des Körpers durch Repräsentanten.

Repräsentanten sind Vektoren (Zeiger) welche die räumliche Lage eines Körpers durch die Angabe von funktionalen oder charakteristischen Koordinaten vertreten. Solche Repräsentanten können z. B. durch die Durchstoßpunkte der Körperhauptachsen oder durch die Verbindungsvektoren von Gelenklagerzentren (wenn ein Körper durch Gelenke mit benachbarten Körpern verbunden ist) ausgedrückt werden. In Fig. 1 wird Repräsentant \hat{R}_1 durch die Durchstoßpunkte P1, P2 der Körperlängsachse durch die Abschlüßflächen 1.2 und 1.3 gebildet. Da der Körper in Fig. 1 einen elliptischen Querschnitt haben soll, kann man Repräsentant \hat{R}_2 durch die große Halbachse A (= Strecke P1-P3) definieren. Die Repräsentanten \hat{R}_1 und \hat{R}_2 lassen sich aus den konstanten Vektoren $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3$ relativ zum Gyrokoordinatensystem T1 angeben. Durch Erfassung der Gyroorientierung (= Umrechnung der gemessenen Winkel ϕ, ψ, χ in die neun cos-Werte zwischen den Achsen von Gyro und Bezugssystem B0) und einer Körperstelle K ($= p_K$) - mittels einer Positionssensorik-, lassen sich die gyrobezogenen Vektoren $\hat{p}_1, \hat{p}_2, \hat{p}_3$ bei bekannter gegenseitiger Lage von K und dem Ursprung des Gyrosystems T1 (= Vektor r_{GK}) in das Bezugssystem B0 transformieren.

$$p_1(t) = p_K(t) + D(t) * (\hat{p}_1 - r_{GK}) \quad (1.1)$$

$$p_2(t) = p_K(t) + D(t) * (\hat{p}_2 - r_{GK}) \quad (1.2)$$

$$p_3(t) = p_K(t) + D(t) * (\hat{p}_3 - r_{GK}) \quad (1.3)$$

* ist der Operator der die zeitabhängige Drehmatrix D(t) auf den Differenzvektor $(\hat{p}_1 - r_{GK})$ anwendet. Die Drehmatrix D(t) wird aus den Winkelmesswerten des Gyros gewonnen.

Im Bezugssystem B0 lauten die beiden Repräsentanten $R_1(t)$ und $R_2(t)$ dann

$$R_1(t) = p_2(t) - p_1(t) \quad (1.4)$$

$$R_2(t) = p_3(t) - p_1(t) \quad (1.5).$$

- 5 Im Bezugssystem B0 ist der Körper 1.0 damit durch einen Ortsvektor (z. B. $p_1(t)$) und die beiden Repräsentanten vollständig beschrieben.

Repräsentanten habe zwei vorteilhafte Eigenschaften.

- a) Sie geben die Orientierung des Körpers im Bezugssystem an.
 10 $R_1(t)$ = Orientierung Längsachse
 $R_2(t)$ = Orientierung der großen Halbachse A des elliptische Längsquerschnittes,
 b) Bei als Mehrgelenksystem aufgebauten Körpern können Repräsentanten einzelner Glieder als eine Kette von Zeigern dargestellt werden und auf diese Weise ein geometrisches Abbild des Gelenksystems liefern.

15

Aufgabe 3

Durch die Kombination von Positions- und Orientierungserfassung kann ein Teilkoordinatensystem definiert werden, bezüglich dessen die Positionserfassung von zeitlich variablen Punkten erfolgen kann.

- 20 Aus r_i^{\wedge} wird also $r_i^{\wedge}(t)$. In diesem Fall besteht also die Aufgabe darin, die im Teilkoordinatensystem T1 erfaßten Positionen $r_i^{\wedge}(t)$ ins Bezugskoordinatensystem B0 zu transformieren.

Zur mathematischen Behandlung der vorgenannten Aufgaben sei auf die einschlägige Literatur z. B. "Großes Handbuch der Mathematik" Buch und Zeit VerlagsGmbH S. 554 bis 556 verwiesen.

25

3) Technische Realisierung

- In diesem Abschnitt wird jener Stand der Technik beschrieben welcher die Voraussetzung für die erfindungsgemäße Lösung der gestellten Aufgabe bietet. Im Sinne der Erfindung werden hier die aktuellsten Methoden auf den beiden – zur Lösung der Aufgabe – zu kombinierenden Gebieten "Inertiale Orientierungs-Messaufnehmer" und "Positionserfassungssensoren" vorgestellt.

30

3.1) Inertiale Orientierungs-Messaufnehmer

- Die praktische Realisierung des Erfindungsgedankens ist auf diesem Gebiet erst durch die Entwicklung der Mikro-
 35 technologie möglich geworden. Die benötigten Messaufnehmer haben erst in jüngster Zeit so kleine Dimensionen erhalten, daß eine störungsfreie Anbringung z. B. am menschlichen Körper möglich ist.

Man unterscheidet derzeit 3 Arten von inertialen Orientierungs-Messaufnehmern die im folgenden wegen des branchenüblichen Sprachgebrauchs auch als Gyros bezeichnet werden.

40

3.1.1) Kreisel

- Der kardanisch aufgehängte Kreisel stellt die älteste Form von inertialen Orientierungs-Messaufnehmern dar. Er mißt die Winkelabweichung eines Außengehäuses von einer willkürlich eingestellten Ausgangslage (z. B. zum Beginn der Rotation) in zwei Orientierungsachsen. Zur Bestimmung aller drei Raumachsen sind also zwei derartige Messaufnehmer
 45 nötig.

3.1.2) Vibrationsgyro

- Der mikromechanische Vibrationsgyro mißt die Corioliskraft welche bei der Relativbewegung in einem rotierenden System entsteht. Dazu wird eine Mikromasse in hochfrequente Vibration versetzt (z. B. durch Piezoschwingelemente oder Magnetfelder). Bei Rotation des Systems um die Messachse wirkt nun eine senkrecht zum Winkelgeschwindigkeitsvektor gerichtete Corioliskraft auf die Mikromasse, welche als Dehnung deren Aufhängung gemessen werden kann.

- Der Vibrationsgyro liefert also nur ein Messsignal für die in seiner Achse gelegene Komponente des räumlichen Winkelgeschwindigkeitsvektors, so daß für die komplette Erfassung drei solche Messeinheiten in "linear unabhängiger" Ausrichtung angebracht werden müssen (vorzugsweise orthogonal).

- Die Bestimmung der gewünschten Winkellage muß dann noch mittels Zeitintegration der Winkelgeschwindigkeitskomponenten erfolgen. Der erhaltene Winkel zu beliebiger Zeit t bemißt sich dann relativ zu der Achsausrichtung im Raum, welche zu Beginn der Messung $t = 0$ bestand.

60

3.1.3) Fibergyros (Lasergyros)

Fibergyros messen die Phasenverschiebung (Interferenz) zwischen zwei amplitudenmodulierten, in entgegengesetzte Richtungen aufgespaltenen Lichtstrahlen in einer Fiberspule beim wiederzusammentreffen in Abhängigkeit der Winkelgeschwindigkeit der Spule.

- 65 Hier gelten im Prinzip die selben Meßbedingungen wie beim Vibrationsgyro: Die komplette Erfassung des Winkelgeschwindigkeitsvektors erfordert drei "linear unabhängig" ausgerichtete Fiberspulen, die Winkellage bemißt sich relativ zu einer willkürlichen Anfangsorientierung und muß durch Zeitintegration gewonnen werden.

3.2) Positionserfassung

Folgende, zum Teil noch nicht in der Anwendung befindliche Positionserfassungsmethoden sind für die erfindungsgemäße Kombinationssensorik einsetzbar.

5

3.2.1) Licht

3.2.1.1) Laufzeit

Aus drei Abstandsmessungen zu unterschiedlichen Referenzstellen wird die räumliche Position gewonnen. Siehe hierzu Patent DE 44 11 218 C1 "Entfernungsmessgerät nach dem Laufzeitprinzip".

10

3.2.1.2) Flächendetektor, Positionsempfindliche Detektoren (PSD)

Die Position wird bei diesen Verfahren aus der Verschiebung markanter Punkte auf mindestens zwei räumlich zueinander definiert angeordneten positionsempfindlichen Abbildungsflächen gewonnen. Hierzu zählen auch die Auswerteverfahren mit CCD-Kameras.

15

Siehe hierzu die Patente und Offenlegungsschrift

DE 36 01 536 C1 "Anordnung zur Lagebestimmung eines Objektes"

DE 44 22 886 A1 "Verfahren und Einrichtung zur optischen Bestimmung räumlicher Positionen ...".

20

3.2.1.3) Triangulation; Laserscanner

Die Triangulation beruht im wesentlichen auf der Bestreichung des Objektes mittels an verschiedenen Stellen im Raum angeordneten Fächerlasern mit unterschiedlichen Charakteristiken (z. B. Scan-Rate, Farbe, Modulationsfrequenz). Die Unterscheidung am Auftreffpunkt erlaubt die Winkellage des Meßobjektes zu den jeweiligen Standorten der Laserquellen zu erfassen. Bei Kenntnis der räumlichen Beziehung der Laserquellen läßt sich die Meßobjektposition durch Triangulation gewinnen.

25

Siehe hierzu Patent und Offenlegungsschrift

US 4,912,643 "Position sensing apparatus"

30

DE 44 15 3'419 A1 "Positionsmesseinrichtung"

3.2.1.4) Phasendifferenz

Der Abstand wird aus der Phasenverschiebung von ausgesandtem und objektreflektierten, amplitudenmodulierten Laserstrahl gewonnen. Aus drei Abstandsmessungen zu unterschiedlichen Referenzstellen wird die räumliche Position bestimmt.

35

Siehe hierzu die Patente und Offenlegungsschrift

DE 35 27 918 C2 "Vorrichtung zum Feststellen eines Objektes ..."

DE 40 27 990 C1 "Entfernungsmesser mit cw-moduliertem Halbleiterlaser"

40

DE 44 34 666 A1 "Sensor".

3.2.2.) Ultraschall

3.2.2.1) Ultraschall-Laufzeit

45

Die Ultraschall-Laufzeitmethode gehört zu den Standardmethoden der Abstandsbestimmung. Die Positionsbestimmung erfolgt hier aus drei Abstandsmessungen zu unterschiedlichen Referenzstellen. Positionsgenauigkeiten von 1 mm³ sind dabei in einem Durchschnittsraum zu erzielen.

50

3.2.2.2) Ultraschall-Phasenverschiebung

Aus der Phasenlage von ausgesandtem zu zurückgestrahltem Signal ist ebenfalls eine Abstandsbestimmung möglich. Dabei kann die Reflexion natürlich, oder mit definierter Verzögerung von einem am Bestimmungsort angebrachten Ultraschallemitter erfolgen.

55

3.2.3) Felder

3.2.3.1) Körperbezogene Felder

60

Durch gezielt am Körper angeordnete, stromdurchflossene Spulen, oder elektrische Ladungen tragende Gebilde werden die Nachteile von extern erzeugten Magnetfelder eliminiert. Die Abstände sind hierbei auf den Extremitätenradius begrenzt und damit auch der abstandsabhängige Genauigkeitsschwund.

Felddeformationen durch Fremdeiseneinflüsse sind kaum gegeben.

65

3.2.3.2) (Quasi)skalare Felder

In der Technik kommen mindestens folgende drei Skalarfelder für die Lösung der erfindungsmäßigen Aufgabe in

Frage: Die Schalldruckverteilung, die Leuchtstärkeverteilung und der Effektivwert eines (elektro)-magnetischen Wechselfeldes.

4) Patentschriften zu vorliegender Erfindung

4.1) Europa-Patent 0211 984 B1 Jaron Lanier: filed 19. Aug. 85

"Computer data entry and manipulation apparatus".

In Spalte 7, Zeile 5 bis 12 wird zwar die Verwendung eines "orientation sensor 92" beschrieben jedoch betrifft keines der vorgeschlagenen Prinzipien einen inertialen Orientierungs-Messaufnehmer.

4.2) US-Patent 5,676,157 Kramer Priorität 26. Nov. 1993

"DETERMINATION OF KINEMATIKALLY CONSTRAINED MULTIARTICULATED STRUCTURES".

Im US-Patent 5,676,157 wird im Zusammenhang mit den "Position Sensing Elements" nirgends ein inertialer Orientierungs-Messaufnehmer für die Lösung der Aufgabe erwähnt.

Die Erläuterung von "Position Sensing Elements" (Spalte 3, Zeile 10 bis 20 und Zeile 38 bis 45) beschreibt ein Funktionsspaar von Sender Tx und Empfänger Rx aber keine inerte Einzelorientierungssensorik im Sinn eines inertialen Orientierungs-Messaufnehmers.

4.3) Offenlegungsschrift DE 196 32 273 A1 Zwosta Anmeldung: 09.08.1996

"Körpersensorik".

In der allgemeinen Formulierung der Anmeldung DE 196 32 273 A1 fallen inertielle Orientierungs-Messaufnehmer und deren genannte Kombination mit Positionssensoriken zwar unter die allgemeinen Begriffe Sensorikteil, (Spalte 2, Zeile 45), Geometriesensorik und Geometriesensoriksystem in der Beschreibung und den Ansprüchen sind sie jedoch nicht explizit erwähnt oder beschrieben.

4.4) US-Patent 5,645,077, Foxlin, Filed Jun. 16, 1994

INERTIAL ORIENTATION TRACKER APPARATUS HAVING AUTOMATIC DRIFT COMPENSATION FOR TRACKING HUMAN HEAD AND OTHER SIMILARY SIZED BODY.

Vorteile vorliegender Erfindung

Nach den bisherigen Darlegungen ergeben sich also die nachfolgend aufgezählten Vorteile gegenüber den bestehenden Methoden und Produkten:

- Detailauflösung ist unabhängig vom Erfassungsbereich
- Prädestiniert für die Ausbildung von Teilkoordinatensystemen
- Konzeptionell, keine Begrenzung des Erfassungsbereiches
- Einsatzmöglichkeit für Weltraumanzüge
- keine Störung von Bewegungen durch Gestänge
- Keine Störanfälligkeit gegen Fremdeisen und elektromagnetische Felder
- Sensorreduzierung bei der räumlichen Lagebestimmung von Mehrgelenksystemen (z. B. Skelett)

Wird für die Positionserfassung eines körpereigenen Koordinatenursprungs GPS (Global Positioning System) verwendet so kann die Lagebestimmung aller Körperteile (also eines kompletten Körpers) planetenweit erfolgen.

5) Ausführungsbeispiele

Fig. 2 und Fig. 2a geben einen Überblick über die prinzipielle Anordnung und Ausgestaltung der Kombination von inertialen Orientierungs-Messaufnehmern und Positionssensoriken und die Fig. 3 und 3a zeigen zugehörige Details. In Fig. 2 ist im Rückenteil einer starren Weste 2.9 eine Kombinationssensorik 2.0 aus Gyro und einem Teil der externen Positionssensorik 2.5/E angebracht, welche die räumliche Lagebestimmung der Weste 2.9 ermöglicht (s. oben "2. Lagebestimmung eines Körpers im Raum..."). Durch die Kombinationssensorik 2.0 wird außerdem das Körperhauptkoordinatensystem B0 repräsentiert. (Anm: Es liegt in der Natur der Sache, daß eine Positionssensorik im allgemeinen zwei Hauptanteile hat: einen generierend-emittierenden und einen empfangend-detektierenden Anteil. Beschreibt man eine Positionssensorik allgemein, so kann man wegen der Vielzahl von Methoden und Ausgestaltungen nicht von vornherein sagen an welcher Stelle sich welcher Funktionsteil - Emitter oder Detektor - befindet; dies entscheidet die spätere konkrete Ausgestaltung. Eine Positionssensorik kann außerdem mehrere Abstandssensoriken umfassen, welche entweder aus einer emittierenden Komponente und mehreren detektierenden Komponenten besteht, oder umgekehrt. Aufgrund der Vielgestaltigkeit einer Positionssensorik werden nachfolgend die Begriffe Positionsanteil oder Teilpositionssensorik verwendet, wenn die abstrakte Beschreibung beide Funktionen - Emitter und Detektor - zuläßt, und wenn die Ausgestaltung offen läßt, ob es sich um eine ein- oder mehrteilige Komponente handelt).

In den "Flanken" der starren Weste 2.9 befinden sich die Teilpositionssensoriken 2.1 und 2.2 welche für die linke und die rechte Körperhälfte zuständig sind, und welche die körperbezogenen Teilkoordinatensysteme B1 und B2 definieren. An den Händen befinden sich nun zwei weitere Kombinationssensoriken 2.3 und 2.4 welche ebenfalls aus je einem Gyro und einem Positionsanteil bestehen. Diese beiden Kombinationssensoriken 2.3 und 2.4 ermöglichen einerseits die räumliche Lagebestimmung der beiden Hände (z. B. $r_{p1}(t)$, e_{u1} , e_{v1} , e_{w1}), und definieren andererseits je ein weiteres Unterkoordinatensystem (z. B. BP2, u2, v2, w2) über die Umrechnung der gemessenen Gyrowinkel ϕ , ψ , χ .

Aufgrund der prinzipiellen Anordnung kann nun die gestellte Aufgabe - nämlich die Bestimmung der räumlichen Lage eines Körperteiles (z. B. einer Hand) - auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen:

A) Auf direktem Weg

Durch direkte Positionsdetektion bezüglich des externen Koordinatensystems (s. Fig. 5). In einem begrenzten Erfassungsbereich in dem nur eine geringe Anzahl von Körperteilen von nur einer Person erfaßt werden soll, bietet sich eine Direktmessung an.

B) Auf indirektem Weg

Bezüglich eines externen Koordinatensystems 2.5/E (s. Fig. 2 und 2a) durch Addition der Vektoren:

$$\begin{aligned} r_{HR}(t) &= r_0(t) + r_{B1} + r_{P1}(t) \text{ (rechte Hand s. Fig. 3) bzw.} \\ r_{HL}(t) &= r_0(t) + r_{B2} + r_{P2}(t) \text{ (linke Hand).} \end{aligned}$$

Aufgrund der starren Weste sind die beiden Vektoren r_{B1} und r_{B2} konstante Größen im Körperhauptkoordinatensystem B0. Bei einem größeren Erfassungsbereich mit mehreren Personen ist es vorteilhafter, wenn nicht gar unumgänglich nur jeweils eine signifikante Körperstelle einer Person zu erfassen und die räumlichen Lagen der interessierenden Körperteile körperbezogen zu bestimmen und deren Werte einer externen Weiterverarbeitung zuzuleiten, welche dann die gesamte "geometrische-kinematische Körpersituation" relativ zum externen Koordinatensystem berechnet.

Diese Methode ist angezeigt, wenn sich z. B. mehrere Akteure auf einer großflächigen Bühne bewegen. Hier gibt es bei der Direkterfassung von Körperteilen Reichweitenprobleme, gegenseitige Abschattungen, Identifikationsprobleme u.s.w. Ein weiteres Anwendungsfeld für die indirekte Methode ist das planetenweite "body tracking" via GPS (Global Positioning System).

C) Körperkoordinatensystem B0 (x_0, y_0, z_0)

Dieser Fall ist in der Sportphysiologie gegeben. Hier kommt es häufig darauf an die Bewegungsabläufe oder räumliche Lage der Körperteile von Sportlern zu erfassen. Dabei ist die Position des Sportler oft nicht von Interesse. In solch einem Fall kann also die externe Bezug entfallen. Die räumliche Lage der Körperteile wird dann auf ein Körperhauptkoordinatensystem B0 bezogen, welches zu Beginn der Messung auf die Orientierung eines gewünschten Bezugssystems ausgerichtet werden kann. In diesem Anwendungsfall können die Daten entweder an eine entfernte Auswerteeinheit übermittelt, oder bis zur späteren Auswertung am Körper gespeichert werden. Im Fall C) entfällt somit die externe Positionssensorik 2.5/E und damit auch der Positionsanteil der Kombinationssensorik 2.0 (s. Fig. 2).

Eine Form der praktischen Ausgestaltung der externen und körperbezogenen Positionserfassung der Kombinationssensoriken 2.0, 2.3 oder 2.4 kann mittels Ultraschall-Laufzeit-Abstandsmessung realisiert werden. Bei Kenntnis der gegenseitigen räumlichen Lage der drei Ultraschallempfänger 2.6, 2.7, 2.8 kann man aus den drei Abständen a_x, a_y, a_z in Fig. 2a (= Rückenansicht) die räumliche Position des zur Kombinationssensorik 2.0 gehörenden Ultraschallsenders ermitteln. Die Ultraschall-Laufzeit-Abstandsmessung ist Stand der Technik und deshalb nicht weiter erläutert (Es ist hier auf das Patent DE-Pat. 34 06 179 "Vorrichtung zum Messen der Lage und Bewegung wenigstens eines Messpunktes" und die Offenlegungsschrift DE 196 32 273 A1 "Körpersensorik" verwiesen). In den Fig. 2 und 2a können die drei Ultraschallempfänger auch in einer Ebene liegen (gestrichelte Variante von Ultraschallempfänger 2.8). Alternativ zu der Ultraschall-Laufzeit-Abstands-Methode hätte auch eine der zitierten optischen Messmethoden zur externen Positionserfassung von Kombinationssensorik 2.0 zur Anwendung kommen können.

Fig. 3 zeigt eine Ausschnittsvergrößerung der rechten Oberkörperhälfte. Im Rücken des Trägers ist die Kombinationssensorik (Gyro plus Positionsanteil) 3.0 befestigt, welche die räumliche Lage der starren Weste 3.7 bezüglich eines externen Koordinatensystems bestimmbar macht und welche außerdem das Körperhauptkoordinatensystem B0 definiert. Um Verdeckungen bei der externen Positionserfassung entgegenzuwirken wird es sinnvoll sein eine zweite solche Kombinationssensorik oder nur einen zweiten Positionsanteil in räumlich definierter Beziehung zur ersten an der starren Weste 3.7 anzubringen. Es sei hier auch nochmals daraufhingewiesen, daß der Positionsanteil und der Gyro einer Kombinationssensorik nicht in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht zu sein brauchen. In den Flanken der starren Weste 3.7 sind die drei Ultraschallempfänger 3.1, 3.2, 3.3 so angeordnet, daß sie ein Koordinatensystem B1 (x_1, y_1, z_1) definieren können. Koordinatenursprung von B1 sei in Fig. 3 der Ultraschallempfänger 3.1, der auf Grund der Starrheit der Weste 3.7 durch den konstanten Vektor r_{B1} mit dem Ursprung des Körperhauptkoordinatensystems B0 verbunden ist.

An der rechten Hand des Trägers ist nun eine weitere Kombinationssensorik befestigt. Sie besteht aus dem Gyro 3.5 der auf dem Handrücken befestigt ist und einem Ultraschallsender 3.4 (= Positionsanteil) an der Handinnenfläche. Gyro 3.5 und Ultraschallsender 3.4 sind über eine starre Schale 3.6 miteinander verbunden, so daß eine eindeutige räumliche Beziehung zwischen dem Gyro 3.5 und dem Positionsanteil 3.4 besteht (s. Ausschnittsvergrößerung Fig. 3a). Die räumliche Lage der starren Schale 3.6 – und damit der rechten Hand – ist nun eindeutig bestimmt durch die vom Gyro 3.5 (nach Umrechnung) gelieferten Orientierungsvektoren e_{u1}, e_{v1}, e_{w1} und durch den von der Positionssensorik 3.1, 3.2, 3.3, 3.4 gelieferten Vektor $r_{P1}(t)$. Der Vektor $r_{P1}(t)$ wird mittels einer Ultraschall-Laufzeit-Abstandsmessung aus den Abständen a_{x1}, a_{y1}, a_{z1} – wie bekannt – ermittelt. Da die Orientierung eines Gyros 3.5 frei durch seine "Anfangsorientierung" bestimmbar ist, müssen nur die Koordinaten von $r_{P1}(t)$ auf das gewählte Bezugssystem (B0 oder E) transformiert werden, denn es wird vorausgesetzt daß der Gyro 3.5 bei Messbeginn auf das jeweilige Bezugssystem ausgerichtet wurde. Wird das externe Koordinatensystem E als Bezugskordinatensystem gewählt, so lautet die Transformation

$$r_{HR}(t) = r_0(t) + r_{B1} + r_{P1}(t).$$

Ist das Körperhauptkoordinatensystem B0 das gewählte Bezugssystem, so lautet die Transformation

$$r_{HR}(t) = r_{B1} + r_{P1}(t).$$

Es wird angebracht sein an mehreren Stellen der Hand Positionsanteile – in bekannter geometrischer Beziehung – anzubringen, um einer Abschattung entgegenzuwirken. Es versteht sich von selbst, daß anstatt des Körperteiles "Hand" die räumliche Lage jedes anderen Körperteiles mit der beschriebenen Methode bestimmt werden kann. Damit besteht die Möglichkeit der Erstellung einer geometrisch-kinematischen Abbildung eines beweglichen Körpers.

Mittels der Orientierungsvektoren e_{u1} , e_{v1} , e_{w1} des Gyros 3.5 kann außerdem an jeder Stelle der starren Schale 3.6 ein Teilkoodinatenystem BP1 (u , v , w) definiert werden wie Fig. 3.a zeigt. Die Koordinaten von Punkten des Teilkoodinatenystems (z. B. Fingerkuppen in Fig. 3a) sind dann auf die Orientierungsvektoren e_{u1} , e_{v1} , e_{w1} und den gewählten Teilkoodinatenursprung OP1 zu beziehen.

In Fig. 4 ist eine Kombination von Magnetfeld und Gyro zur Lagebestimmung der Hände dargestellt. Um den Leib der Person ist eine stromdurchflossene starre Spule 4.1 befestigt, welche das Magnetfeld MF generiert. Diese Spule definiert durch ihre geometrische Ausgestaltung das Körperhauptkoordinatensystem B0 (x_0 , y_0 , z_0), dessen räumliche Lage bezüglich eines externen Koordinatensystemes durch die Kombinationssensorik 4.2 aus 3A-Gyro und Positionsanteil erfaßt wird.

An den Händen der Person ist nun je ein Kombinationssensor 4.3 aus 3A-Gyro 4.4 und 3-Komponenten-Magnetfeld-detektor 4.5 (im Folgenden 3K-Magnetfelddetektor genannt) angebracht. Die Orientierungserfassung des Gyros 4.4 relativ zum Körperhauptkoordinatensystem B0 ermöglicht erst einen Bezug der drei am Messort "Hand" erfaßten Magnetfeldkomponenten. Es sei hier daran erinnert, daß ein Gyro auf ein beliebiges Bezugssystem durch seine "Startorientierung" ausgerichtet werden kann. Also wird man die Kombinationssensorik 4.3 vor Messbeginn achsparallel zum Körperhauptkoordinatensystem B0 (x_0 , y_0 , z_0) ausrichten um die gemessenen Magnetfeldkomponenten in Bezug zu B0 zu setzen. In allgemeiner Form gilt für die Berechnung der magnetischen Feldstärke $H(r)$ eines Leiters das Biot-Savartsche Gesetz (s. z. B. "Kleine Enzyklopädie der Physik S. 86" Verlag Harry Deutsch)

$$dH = Jds \times (r - s)/4\pi r^3 - s^3.$$

Daraus erhält man für eine kreisförmige Leiterschleife mit Koordinatenursprung im Kreismittelpunkt, Radius $R_0 = s$, Strom J , die Feldstärke H am Ort r (x_0 , y_0 , z_0), durch Intergration über die Leiterschleife

$$H = S Jds \times (r - R_0)/4\pi r^3 - R_0^3 \quad (2)$$

mit den Komponenten von H ($S = \text{Integralzeichen}$)

$$H_x = J/4\pi S \{ z_0 R_0 \cos\phi / [(x_0 - R_0 \cos\phi)^2 + (y_0 - R_0 \sin\phi)^2 + z_0^2]^{-3/2} \} d\phi \quad (2.1)$$

$$H_y = J/4\pi S \{ (z_0 R_0 \sin\phi / [(x_0 - R_0 \cos\phi)^2 + (y_0 - R_0 \sin\phi)^2 + z_0^2]^{-3/2} \} d\phi \quad (2.2)$$

$$H_z = J/4\pi S \{ (-y_0 R_0 \sin\phi - x_0 R_0 \cos\phi + R_0^2) / [(x_0 - R_0 \cos\phi)^2 + (y_0 - R_0 \sin\phi)^2 + z_0^2]^{-3/2} \} d\phi \quad (2.3)$$

wobei die Integration über die Leiterschleife von $\phi = 0$ bis $\phi = 2\pi$ zu erfolgen hat.

Allerdings gelten diese Beziehungen für die Magnetfeldkomponenten H_j relativ zum Spulenkoordinatensystem B0 der felderzeugenden Spule.

In der Ausschnittsvergrößerung (Fig. 4a) sind die 3 orthogonalen Magnetfelddetektoren 4.6/ H_u , 4.7/ H_v , 4.8/ H_w , durch ihre gemeinsame Unterbringung in einem Gehäuse fest an die Orientierungserfassung des 3A-Gyro 4.4 gebunden. Die Magnetfelddetektoren können auf verschiedenen Prinzipien basieren (z. B. dem magnetoresistiven oder dem Hall-Effekt-Prinzip). Die von den Detektoren gemessenen Magnetfeldkomponenten H_u , H_v , H_w stehen jedoch in keiner Beziehung zum Spulenkoordinatensystem B0. Die Beziehung wird erst durch den 3A-Gyro 4.4 geliefert, der durch die gemeinsame Ausrichtung die Orientierungswinkel a_{mn} des 3K-Magnetfelddetektors 4.5 bezüglich B0 erfaßt. Deshalb müssen die gemessenen Feldkomponenten H_u , H_v , H_w einer Drehmatrix $D(t)$ unterworfen werden, welche sie in die "richtige" Orientierung transformieren, also

$$H_0 = D(t) \cdot H_1 \quad (3)$$

oder in Komponenten.

$$H_x(t) = a_{11}(t)H_u(t) + a_{12}(t)H_v(t) + a_{13}(t)H_w(t) \quad (3.1)$$

$$H_y(t) = a_{21}(t)H_u(t) + a_{22}(t)H_v(t) + a_{23}(t)H_w(t) \quad (3.2)$$

$$H_z(t) = a_{31}(t)H_u(t) + a_{32}(t)H_v(t) + a_{33}(t)H_w(t) \quad (3.3)$$

wobei die a_{mn} die Kosinus der 9 Achswinkel zwischen Bezugs- und Gyrosystem sind.

Nachdem also die Magnetfeldkomponenten H_x , H_y , H_z bestimmt sind müssen aus ihnen über die Beziehungen (2.1), (2.2), (2.3) die gesuchten Koordinaten (x_0 , y_0 , z_0) berechnet werden. Da eine analytische Methode zur Auflösung der Gleichungen (2.1), (2.2), (2.3) nach den gesuchten Koordinaten (x_0 , y_0 , z_0) nicht bekannt ist, kann man folgende Vergleichsmethode anwenden um die gesuchten Koordinaten zu erhalten. Man berechnet die Magnetfeldstärken einer Vielzahl von Positionen im Erfassungsbereich und überprüft sie teilweise durch Messung. Bei einem Erfassungsbereich von $2 \times 2 \times 2$ m ergeben sich $8000 \cdot 3$ gerechnete Werte für die Magnetfeldkomponenten, wenn man ein Erfassungsra-

ster von 1 cm^3 anstrebt. Die gesuchten Koordinaten (x_0, y_0, z_0) erhält man dann durch Vergleich von gemessenen und berechneten Feldkomponenten. Zur Steigerung der Erfassungsgenauigkeit kann man im Nahbereich der Spule dann noch eine Feinauflösung mit Raster 1 mm^3 ausführen (Berechnung von $10 \times 10 \times 10 \times 3 = 3000$ weiteren Feldkomponentenwerten). Um Rechenzeit zu sparen wird man bei der Vergleichsbildung nicht den gesamten Erfassungsraster abtasten, sondern nur die unmittelbare Umgebung der zuletzt bekannten Position des Magnetfeldsensors. Dazu wird man zu Beginn der Messung von einer definierten Startposition ausgehen in der gleichzeitig die Ausrichtung der Gyroorientierung erfolgt. Die Magnetspulen 4.10 bis 4.14 zeigen weitere Anordnungsmöglichkeiten am Körper. Dabei können bei bekannter geometrischer Beziehung der Spulen, die verschiedenen Erfassungsbereiche der einzelnen Spulen optimal je nach Position der Hand ausgenutzt werden. Selbstverständlich müssen die einzelnen Spulen in schneller Abfolge nacheinander erregt werden (Multiplexing) oder es ist per Programm nur die Spule stromdurchflossen, welche die höchste Detektorauflösung für die aktuelle Position des 3-K-Magnetfeldsensors 4.5 liefert.

Die Methode ist auch im Nahbereich – z. B. über einem Tisch – anwendbar, wenn eine Bezugspule wie 4.1 am Bezugsobjekt (Tisch) befestigt ist, und der 3K-Magnetfelddetektoren sowie der 3A-Gyro am zu erfassenden Körper angebracht sind. (Ähnlich wie in Fig. 5). Anstelle des Magnetfeldes MF ist auch eine Kombination von 3A-Gyro und elektrischem Feld möglich. Der hierbei einzusetzende "Detektor" kann sowohl für eine Feldstärkemessung als auch eine Potentialmessung ausgestaltet sein.

Das folgende Ausführungsbeispiel kombiniert eine Magnetfeldmessung mit einer 3A-Gyro- und einer Ultraschall-Laufzeit-Abstandsmessung. Nach US-Patent 4,054,881 "Remote object position locator" ist die Position $r(x, y, z)$ eines Punktes im Raum durch die Effektivwertquadrate P_i der Magnetfeldkomponenten von mit Wechselstrom erregten, orthogonalen Leiterschleifen (loop antennas) durch die Gleichungen

$$P_z = 1/2 \cdot C^2(\rho)[1/4(x/\rho)^2 + 1/4(y/\rho)^2 + (z/\rho)^2] \quad (4.1)$$

$$P_x = 1/2 \cdot C^2(\rho)[(x/\rho)^2 + 1/4(y/\rho)^2 + 1/4(z/\rho)^2] \quad (4.2)$$

$$P_y = 1/2 \cdot C^2(\rho)[1/4(x/\rho)^2 + (y/\rho)^2 + 1/4(z/\rho)^2] \quad (4.3)$$

verknüpft (für Abstände $\rho >$ Leiterschleifendurchmesser). Es handelt sich also um ein Quasiskalarfeld im Sinne von 3.2.3.2).

Wobei man jede Komponente P_i aus den gemessenen Komponenten P_{ij} eines orthogonalen 3-Komponenten-Felddetektors erhält, durch

$$P_z = P_{zu} + P_{zv} + P_{zw} \quad (5.1)$$

$$P_x = P_{xu} + P_{xv} + P_{xw} \quad (5.2)$$

$$P_y = P_{yu} + P_{yv} + P_{yw} \quad (5.3).$$

Die Gleichungen (4.1), (4.2), (4.3) sind allerdings nur dann nach den gesuchten Koordinaten (x, y, z) aufzulösen, wenn der Abstand ρ zwischen den Bezugsleiterschleifen und der Messstelle durch Rechnung (s. US-Patent 4,314,251 Spalte 16) oder eine separate Abstandsmessung (z. B. durch Ultraschall) ermittelt würde.

Fig. 5 zeigt nun eine Ausgestaltung eines Messplatzes zur Erfassung der räumlichen Lage von Körpern. Am zu erfassenden Körper 5.1 ist ein 3A-Gyro 5.2 angebracht, dessen Achsen r, s, t die räumliche Orientierung des Körpers 5.1 definieren. An anderer Stelle des Körpers 5.1 ist ein 3K-Magnetfelddetektor 5.3 befestigt, dessen als Spulen ausgeführte orthogonale Messaufnehmer U, V, W die genannten Feldkomponenten P_{ij} messen um daraus die Position des Spulenzentrums zu bestimmen. (Anm: In Fig. 5 werden statt Leiterschleifen Spulen verwendet, da sie perspektivisch besser darzustellen sind und die prinzipielle Funktion ebenso erfüllen). Der 3A-Gyro 5.2 und 3K-Magnetfelddetektor können – ähnlich wie in Fig. 4 – auch gemeinsam in einem Gehäuse untergebracht sein. Im Zentrum der drei Spulen U, V, W befindet ein Ultraschallsender 5.4, welcher zusammen mit dem im Ursprung des Bezugssystems B0 befindlichen Ultraschallempfänger 5.5 den Abstand ρ ermittelt. Das Bezugssystem B0 (x, y, z) wird durch die orthogonale Anordnung des aus drei Erregerspulen X, Y, Z bestehenden Feldgenerators 5.6 gebildet, welcher das oszillierende Magnetfeld (= elektromagnetisches Feld) erzeugt. Die drei Erregerspulen werden nacheinander von bekanntem Wechselstrom i durchflossen um die zur Positionsbestimmung am Körper 5.1 benötigten quadratischen Mittelwerte P_i der Magnetfeldstärken H messen zu können. Da die Position des Körpers aus drei nacheinander erregten Feldern bestimmt wird, muß der Wechsel auf die jeweils nächsterregte Spule natürlich in entsprechend kurzer Zeit erfolgen, um Toleranzen durch die Bewegung des Körpers möglichst gering zu halten. Im Ausführungsbeispiel nach Fig. 5 ist das Bezugssystem im Zentrum eines fiktiven 5.7 angeordnet, der durch diese Einrichtung als "virtuelle Werkbank" Verwendung finden kann. Der Körper 5.1 kann auch ein mit einer Kombinationssensorik aus 3A-Gyro und 3K-Magnetfelddetektor versehener Datenhandschuh sein, der von einer an der "virtuellen Werkbank" tätigen Person getragen wird.

Statt der Ultraschallsensorik 5.4, 5.5 kann auch ein optisches Positionsverfahren zur Anwendung kommen. Das eben beschriebene Prinzip kann selbstverständlich auch am menschlichen Körper angewandt werden. Da die Magnetfelder in Fig. 4 und 5 nur auf relativ geringe Distanzen angewandt werden, entfallen die sonst üblichen Nachteile des Genauigkeitsschwundes bei größeren Abständen. Die Positionserfassung mit Magnetfeldern oder elektromagnetischen Feldern kann noch mit anderen Methoden erfolgen (wie z. B. nach US-Patent 3,983,474). Im Falle elektromagnetischer Felder können zur Felddetektion am Bestimmungsort auch elektrische Wechselfelddetektoren (= Antennen) zur Anwendung kommen.

Das Skelett des menschlichen Körpers stellt aus mechanischer Sicht ein mehrgliedriges Gelenksystem dar. Diese Tatsache kann man vorteilhaft ausnutzen um bei der räumlichen Lagebestimmung von mehreren Körperteilen oder dem

ganzen Körper die Anzahl von Positionssensoriken oder Gyros zu reduzieren, denn die Kenntnis der Zwangsbedingungen und der geometrischen Verhältnisse ersetzt in diesem Fall die durch direkte Messung fehlenden Bestimmungsgrößen.

Fig. 6 zeigt ein Beispiel zur Einsparung von 3A-Gyros und Positionssensoriken bei der Lageerfassung von Körperteilen relativ zu einem externen Koordinatensystem E. In Fig. 6 genügen bereits zwei Kombinationssensoriken, nämlich 6.1 (Unterarm) und 6.2 (= Schlüsselbein) um die räumliche Lage der drei Körperteile Unterarm, Oberarm, Schlüsselbein zu bestimmen. Am Oberarm braucht kein Sensor angebracht werden, da das Oberarmglied als starres Verbindungsstück die Gelenklagerzentren S_2 und U_1 mit den beiden Anschlußgliedern "Schlüsselbein" und "Unterarm" gemeinsam hat. Das menschliche Skelett bildet eine geschlossene Gliederkette vom Schlüsselbein bis zu den Fingerspitzen, welche durch Gelenke unterschiedlicher Freiheitsgrade miteinander verbunden sind. Nun kann man den Verbindungsvektor zwischen zwei Gelenklagerzentren als Repräsentant R_i eines Gliedes definieren. Man kann den Repräsentanten eines Gliedes bei Kenntnis der räumlichen Lage eines an ihm befestigten Kombinationssensors aus dessen Positions- und Orientierungswerten gewinnen. Platziert man nun Kombinationssensor 6.1 derart, daß seine Achse ξ (= Einheitsvektor e_ξ) parallel zum Verbindungsvektor zwischen den Gelenklagerzentren U_1 und U_2 liegt, und bestimmt man die Abstände L_{u1} und L_{u2} so erhält man den Repräsentanten R_U des Unterarmes durch die Vektoren u_1 und u_2 zu:

$$u_1 = -(L_{U1} e_\xi) \quad (6.1)$$

und

$$u_2 = (L_{U2} e_\xi) \quad (6.2)$$

und damit

$$R_U = u_2 - u_1 = L_{U2} e_\xi - [-(L_{U1} e_\xi)] = (L_{U2} + L_{U1}) e_\xi \quad (6.3).$$

Die Ortsvektoren r_{U1} und r_{U2} zu den Gelenklagerzentren U_1 und U_2 erhält man aus der Messung von Ortsvektor r_U und Orientierungswinkeln e_ξ von Kombinationssensor 6.1, sowie den Abständen L_{u1} und L_{u2} , zu:

$$r_{U1} = r_U + u_1 = r_U - L_{U1} e_\xi \quad (6.4)$$

$$r_{U2} = r_U + u_2 = r_U + L_{U2} e_\xi \quad (6.5).$$

Das beschriebene Verfahren ist natürlich in analoger Weise für den Repräsentanten R_S des rechten Schlüsselbeines anwendbar und man erhält so die Ortsvektoren r_{S1} , r_{S2} der Schlüsselbeingelenke. Damit ist die räumliche Lage des Oberarmes – bis auf seine Drehung – durch die Ortsvektoren r_{U1} und r_{S2} miterfaßt.

Fig. 7 zeigt ein alternatives Ausführungsbeispiel für die Erfassung der selben Glieder wie in Fig. 6. unter Ausnutzung der Gelenkstruktur. Im Unterschied zu Fig. 6 ist die räumliche Lage der Körperteile in Fig. 7 auf ein Körperhauptkoordinatensystem B0 bezogen. Dieses Körperhauptkoordinatensystem wird durch den Hauptkombinationssensor 7.0 gebildet der durch seinen Positionsanteil den externen Bezug herstellt und somit die Transformation der Körperteilkoordinaten auf ein externes System ermöglicht. Die Positionssensorik zur Erfassung des Schlüsselbeines besteht aus 3 Ultraschallempfängern in definierter geometrischer Beziehung von denen nur zwei, nämlich 7.2 und 7.3 in Fig. 7 dargestellt sind. (Der dritte Ultraschallempfänger ist auf dem rechten Schulterblatt befestigt und in Fig. 7 nicht sichtbar). Die Positionssensorik zur Erfassung des Unterarmes besteht ebenfalls aus 3 in definierter geometrischer Beziehung stehender Ultraschallempfänger 7.4, 7.5, 7.6. Der Hauptkombinationssensor 7.0 und die Ultraschallempfänger 7.2, 7.3, 7.4, 7.5, 7.6 sind alle an der starren Weste 7.1 befestigt und stehen somit in bekannter geometrischer Beziehung. Die Positionsbestimmung der Kombinationssensoriken 7.7 (r_{S0} , Schlüsselbein) und 7.8 (r_{U0} , Unterarm) – deren Positionsanteil ein Ultraschallsender ist – erfolgt als Schnittpunkt von je 3 Kugeln (z. B. K4, K5, K6 für den Unterarm) mit Mittelpunkten in den bekannten Positionen der Ultraschallempfänger (z. B. für den Unterarm r_{U4} , r_{U5} , r_{U6}) und Radien aus den Ultraschall-Laufzeit-Abstandsmessungen (der Sachverhalt ist aus Platzgründen nur für den rechten Unterarm dargestellt, für das Schlüsselbein gelten selbstverständlich analoge Beziehungen). Die Orientierungsausrichtung der Gyro-Anteile der Kombinationssensoriken 7.7 und 7.8 erfolgt wieder so, daß eine Gyroachse (z. B. e_ξ für den Unterarm) parallel zu den Gelenklagerzentren (z. B. U_1 und U_2 für den Unterarm) liegt. Bei bekannten Abständen (z. B. L_{U1} und L_{U2}) der Kombinationssensoriken 7.7 und 7.8 sind die Koordinaten der Gelenklagerzentren $S1(r_{S1})$, $S2(r_{S2})$, $U1(r_{U1})$, $U2(r_{U2})$ und die Repräsentanten R_U und R_S wie unter den Gleichungen (6.1) bis (6.5) zu bilden. Die Vektoren sind jetzt allerdings auf das Körperhauptkoordinatensystem B0 bezogen und müssen, wenn benötigt mittels der Orientierungswinkel der Kombinationssensorik 7.0 und des Vektors r_{EB0} auf ein externes Koordinatensystem transformiert werden. Die Gelenklagerzentren $S2(r_{S2})$ und $U1(r_{U1})$ definieren den Oberarm und ermöglichen seine Darstellung durch den Repräsentanten

$$R_O = r_{S2} - r_{U1} \quad (7.0)$$

ohne an ihm eine Sensorik anbringen zu müssen.

Schließlich erhält man durch die Repräsentanten R_S , R_O , R_U und die Ortsvektoren r_{S1} , r_{S2} , r_{U1} , r_{U2} nun ein Abbild der Schlüsselbein-Arm-Gliederkette zu:

$$r_{S1} = r_S - L_{S2} e_{S\eta} \quad (7.1)$$

$$R_S = (L_{S1} + L_{S2}) e_{S\eta} \quad (7.2)$$

$$r_{S2} = r_{S1} + R_S = r_S - L_{S2}e_{S\eta} + (L_{S1} + L_{S2})e_{S\eta} = r_S + L_{S1}e_{S\eta} \quad (7.3)$$

$$r_{U1} = r_U + u_1 = r_U + L_{U1}e_{\xi} \quad (7.4)$$

$$R_0 = r_{S2} - r_{U1} = r_S + L_{S1}e_{S\eta} - L_{U1}e_{\xi} \quad (7.5)$$

$$r_{U2} = r_u + u_2 = r_U - L_{U2}e_{\xi} \quad (7.6)$$

$$R_U = u_2 - u_1 = L_{U2}e_{\xi} - [-(L_{U1}e_{\xi})] = (L_{U2} + L_{U1})e_{\xi} \quad (7.7)$$

Abschließend soll die räumliche Lagebestimmung des Schlüsselbeines S1-S2 wegen seiner "verdeckten" Anordnung am Körper näher erläutert werden. Eine genaue Bestimmung der Gelenklagerzentren S1 und S2 ist von außen schwerlich möglich und für die meisten Anwendungen wohl gar nicht gefordert. Bei vielen Anwendungen geht es nur darum ein "Echtzeit-Gelenkmodell" zu erhalten, bei dem die Schulter zwar dazugehört jedoch keinen Genauigkeitsanforderungen unterworfen ist. (Im Gegensatz zu Steuerungsanwendungen der menschlichen Hand). Also genügt es für das Schlüsselbein in den meisten Fällen den Kombinationssensor grob nach Augenmaß auf Orientierung auszurichten und die Abstände zu den Gelenken mit dem Zentimetermaß auszumessen. Um Abschattungen der Ultraschallimpulse im Schulterbereich zu vermeiden, ragen die Ultraschallempfänger 7.2, 7.3 weit genug über die Oberfläche der starren Weste 7.1 hinaus. Außerdem können die Ultraschallempfänger 7.2, 7.3 – und der nicht sichtbare am Schulterblatt – zusätzlich die Positionsbestimmung der Unterarmkombinationssensorik 7.8 übernehmen, wenn bei gehobenem Arm der Erfassungsbereich der Ultraschallempfänger 7.4, 7.5, 7.6 abgeschattet ist.

6) Definitionen und Begriffserklärungen

– Orientierung, Orientierungswinkel eines Körpers im Raum

Die Orientierung eines Körpers im Raum ist bestimmt durch die 9 Kosinus der Winkel zwischen den Achsen eines Bezugssystems und eines körper(teil)bezogenen Koordinatensystems.

Diese Orientierung kann aus den drei Drehwinkeln der Körper(teil)achsen relativ zum Bezugssystem errechnet werden.

– Orientierungssystem ist der Bezugsrahmen für die Orientierung eines Körpers. Es ist sozusagen ein Koordinatensystem bei dem die translatorischen Komponenten fehlen.

– Räumliche Lage eines Körpers

Im Sinne vorliegender Erfindung ist die "räumliche Lage eines Körpers" bestimmt durch die Position (Koordinaten) eines bestimmten Körperpunktes (Translationskomponente) und die Orientierung seiner frei wählbaren Koordinatenachsen relativ zu einem Bezugssystem.

Die räumliche Lage eines Körpers kann durch verschiedene Vektorkombinationen ausgedrückt werden (z. B. durch Repräsentanten). Diese Definition soll nochmals verdeutlichen, daß unter dem Begriff "räumliche Lage eines Körpers" nicht nur seine Orientierung sondern auch seine Position zu verstehen ist.

– Positionssensorik

Eine Positionssensorik besteht im allgemeinen aus einem Generator- oder Emitterteil (z. B. Magnetfeldgenerator, Ultraschallemitter, Antenne usw.) und einem Detektorteil (z. B. ein Felddetektor, Ultraschallempfänger, Antenne usw.). Dabei ist nicht festgelegt, ob am dem Körper(teil) dessen Position zu bestimmen ist ein Detektor- oder ein Emitterteil angebracht ist. Eine Positionssensorik kann aus mehreren Generatoreinheiten und/oder mehreren Detektoreinheiten bestehen. Hier zeigt sich deutlich, daß der Begriff Positionssensor für ein so komplexes Gebilde aus mindestens zwei Hauptkomponenten nicht ausreichend wäre.

– Positionsanteil, Teilpositionssensorik

Beschreibt man eine Positionssensorik allgemein, so kann man wegen der Vielzahl von Methoden und Ausgestaltungen nicht von vornherein sagen an welcher Stelle sich welcher Funktionsteil – Emitter oder Detektor – befindet. Eine Positionssensorik kann außerdem mehrere Abstandssensoriken umfassen, welche entweder aus einer emittierenden Komponente und mehreren detektierenden Komponenten besteht, oder umgekehrt. Es gibt Ausführungen, bei denen der an der Meßstelle befestigte Positionsanteil Detektorfunktion ausübt (z. B. Magnetfelddetektor in Fig. 4 und 5), es gibt aber auch Fälle bei denen er als Emitter oder Generator (z. B. Ultraschallemitter in Fig. 2 und 3) ausgeführt ist. Da eine Positionssensorik als Ganzes aus mehreren Anteilen besteht, wird in dieser Patentanmeldung ganz allgemein von einer Teilpositionssensorik oder einem Positionsanteil gesprochen, wenn die abstrakte Beschreibung beide Funktionen – Emitter und Detektor – zuläßt und wenn die Ausgestaltung offen läßt, ob es sich um eine ein- oder mehrteilige Komponente handelt. Um eine Positionssensorik aufzubauen sind also mindestens zwei Teilpositionssensoriken erforderlich.

– Inertialer Orientierungs-Messaufnehmer

Inertialer Orientierungs-Messaufnehmer ist eine Funktionseinheit, welche ihre Orientierung oder die Orientierung des

zu messenden Körpers auf ein beliebig festgelegtes Orientierungssystem bezieht. Ein idealer inertialer Orientierungsmessaufnehmer unterliegt keinen Einflüssen von außen und muß seinen Bezug während der Messung auch nicht von außen erhalten (inert = träge, unbeteiligt, reaktionsarm).

– Gyro, 3A-Gyro

Gyro ist die Abkürzung für Gyroscope und bezeichnet technische Messgeräte zur Erfassung von Drehungen. Im Sinne der Erfindung bezieht sich diese Drehungserfassung auf ein einmal festgelegtes Koordinatensystem bzw. Koordinatenachse. Da die Erfassung der räumlichen Orientierung eines Körpers drei Drehwinkel um die Koordinatenachsen erfordert benötigt man einen 3-Achs-Gyro, abgekürzt 3A-Gyro. Gyro ist im Sinne dieser Patentanmeldung auch die Bezeichnung für inertialer Orientierungsmessaufnehmer.

– Kombinationssensorik

Im Sinne der vorliegenden Erfindung wird unter Kombinationssensorik eine Kombination von inertialem Orientierungsmessaufnehmer (Gyro) und einer Teilpositionssensorik verstanden.

– Repräsentant

Repräsentanten sind Vektoren (Zeiger) welche die räumliche Lage eines Körpers durch die Angabe von funktionalen oder charakteristischen Koordinaten vertreten. Solche Repräsentanten können z. B. durch die Durchstoßpunkte der Körperhauptachsen oder durch die Verbindungsvektoren von Gelenklagerzentren (wenn ein Körper durch Gelenke mit benachbarten Körpern verbunden ist) ausgedrückt werden

– Ultraschallimpuls, Ultraschallsignal

In vorliegender Schrift stehen beide Begriffe für eine räumliche Störung die sich linear mit konstanter Geschwindigkeit in einem materiellen Medium ausbreitet. Im Sinne der vorliegenden Erfindung kann es fallweise sinnvoll sein dieser Störung eine Information mitzugeben (Signal) in anderen Fällen ist dies nicht erforderlich (Impuls). Der Begriff "Ultraschallsignal" soll nicht festlegen, daß die Störung eine Information tragen muß, der Begriff "Ultraschallimpuls" soll dies nicht ausschließen.

– inertialer n-Achs-Orientierungsmessaufnehmer, n-Komponentendetektor
die unbestimmte Dimensionsangabe in den Ansprüchen soll einen Schutz von Anwendungen welche andersdimensionale Räume als den 3-dimensionalen betreffen, nicht ausschließen. Dies ist z. B. eine Positions- und Richtungserfassung auf einer ebenen Tischplatte. Hier werden nur 2-dimensionale Sensoriken benötigt.

– Sensorik

die Endung "ik" zeigt an, daß es sich um eine übergeordnete Struktur handelt.

– kosinus ist Mehrzahl von cosinus.

Patentansprüche

1. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körperteilen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen **dadurch gekennzeichnet**,

– daß an mindestens einem Körperteil mindestens ein inertialer 3-Achs-Orientierungsmessaufnehmer und mindestens eine Teilpositionssensorik angebracht sind,

– daß an einem Bezugskörperteil mindestens eine Teilpositionssensorik angebracht ist,

– daß die Signale von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungsmessaufnehmer und von mindestens einer Positionssensorik mindestens einer Signal- und Datenverarbeitung zugeführt werden,

– daß der Datenverarbeitung fallweise die nötigen Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position der an einem Körperteil bzw. dem Bezugskörperteil angebrachten inertialen 3-Achs-Orientierungsmessaufnehmer und Teilpositionssensoriken sowie von repräsentativen Körperteil- bzw. Bezugskörperteilstellen eingegeben werden – wobei die genannten Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position auf ein Körperteil bzw. das Bezugskörperteil bezogen sind –,

– daß die Datenverarbeitung aus den Signalen von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungsmessaufnehmer und mindestens einer Positionssensorik und den fallweise eingegeben Bestimmungswerten, mindestens eine von folgenden geometrischen Bestimmungsgrößen, relativ zu einem am Bezugskörperteil definierten Koordinatensystem errechnet:

– die Position und Orientierung von mindestens einem Körperteil oder

– mindestens einen Körperteilpunkt und/oder mindestens einen Repräsentanten von mindestens einem Körperteil oder

– den Ursprung und die Orientierung (swinkel) eines mit einem Körperteil oder einem inertialen 3-Achs-Orientierungsmessaufnehmer verbundenen Teilkoordinatensystems, sowie die Positionen und/oder Orientierungen von weiteren Körperteilen, welche relativ zu diesem Teilkoordinatensystem erfaßt werden,

– daß zu den errechneten geometrischen Bestimmungsgrößen auch die zeitlichen Ableitungen zählen.

2. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern und/oder deren Körperteilen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen, dadurch gekennzeichnet,

- daß an mindestens einem Körperteil mindestens ein inertialer 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens eine Teilpositionssensorik angebracht sind,
 - daß an einem Bezugskörperteil mindestens eine Teilpositionssensorik und mindestens ein inertialer 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer angebracht sind,
 - daß die Signale von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und von mindestens einer Positionssensorik mindestens einer Signal- und Datenverarbeitung zugeführt werden,
 - daß der Datenverarbeitung fallweise die nötigen Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position der an einem Körperteil bzw. dem Bezugskörperteil angebrachten inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und Teilpositionssensoriken sowie von repräsentativen Körperteil- bzw. Bezugskörperteilstellen eingegeben werden - wobei die genannten Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position auf ein Körperteil bzw. das Bezugskörperteil bezogen sind -,
 - daß die Datenverarbeitung aus den Signalen von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens einer Positionssensorik und den fallweise eingegeben Bestimmungswerten, mindestens eine von folgenden geometrischen Bestimmungsgrößen, relativ zu einem am Bezugskörperteil definierten Koordinatensystem und/oder relativ zu einer Bezugsorientierung errechnet:
 - die Position und Orientierung von mindestens einem Körperteil oder
 - mindestens einen Körperteilpunkt und/oder mindestens einen Repräsentanten von mindestens einem Körperteil oder
 - den Ursprung und die Orientierung(swinkel) eines mit einem Körper(teil) oder einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer verbundenen Teilkoordinatensystems, sowie die Positionen und/oder Orientierungen von weiteren Körperteilen, welche relativ zu diesem Teilkoordinatensystem erfaßt werden,
 - daß zu den errechneten geometrischen Bestimmungsgrößen auch die zeitlichen Ableitungen zählen.
3. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern und/oder deren Körperteilen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen, dadurch gekennzeichnet,
- daß an mindestens einem Körperteil mindestens ein inertialer 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens eine Teilpositionssensorik angebracht sind,
 - daß an einem Bezugskörperteil mindestens eine Teilpositionssensorik und mindestens ein inertialer 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer angebracht sind,
 - daß mindestens eine am Bezugskörperteil angebrachte Teilpositionssensorik mit einer externen Teilpositionssensorik zusammenwirkt,
 - daß die Signale von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und von mindestens einer Positionssensorik mindestens einer Signal- und Datenverarbeitung zugeführt werden,
 - daß der Datenverarbeitung fallweise die nötigen Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position der an einem Körperteil bzw. dem Bezugskörperteil angebrachten inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und Teilpositionssensoriken sowie von repräsentativen Körperteil- bzw. Bezugskörperteilstellen eingegeben werden - wobei die genannten Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position auf ein Körperteil bzw. das Bezugskörperteil bezogen sind -,
 - daß die Datenverarbeitung aus den Signalen von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens einer Positionssensorik und den fallweise eingegeben Bestimmungswerten, mindestens eine von folgenden geometrischen Bestimmungsgrößen, relativ zu einem externen Koordinatensystem oder einer Bezugsorientierung errechnet:
 - die Position und Orientierung von mindestens einem Körperteil oder
 - mindestens einen Körperteilpunkt und/oder mindestens einen Repräsentanten von mindestens einem Körperteil oder
 - den Ursprung und die Orientierung(swinkel) eines mit einem Körper(teil) oder einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer verbundenen Teilkoordinatensystems, sowie die Positionen und/oder Orientierungen von weiteren Körperteilen, welche relativ zu diesem Teilkoordinatensystem erfaßt werden,
 - daß zu den errechneten geometrischen Bestimmungsgrößen auch die zeitlichen Ableitungen zählen.
4. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körperteilen von Mehrgelenksystemen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen, dadurch gekennzeichnet,
- daß an mindestens einem Körperteil mindestens ein inertialer 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens eine Teilpositionssensorik angebracht sind,
 - daß an einem Bezugskörperteil oder/und körperextern mindestens eine Teilpositionssensorik angebracht ist,
 - daß die Signale von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und von mindestens einer Positionssensorik mindestens einer Signal- und Datenverarbeitung zugeführt werden,
 - daß der Datenverarbeitung fallweise die nötigen Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position der an einem Körperteil bzw. Bezugskörperteil angebrachten inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und Teilpositionssensoriken sowie von repräsentativen Körperteil- bzw. Bezugskörperteilstellen eingegeben werden - wobei die genannten Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position auf ein Körperteil bzw. das Bezugskörperteil bezogen sind -,
 - daß die Datenverarbeitung aus den Signalen von mindestens einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens einer Positionssensorik und den fallweise eingegeben Bestimmungswerten, mindestens eine von folgenden geometrischen Bestimmungsgrößen errechnet:
 - die Position und Orientierung von mindestens einem Körperteil oder
 - mindestens einen Körperteilpunkt und/oder mindestens einen Repräsentanten von mindestens einem Körperteil oder
 - den Ursprung und die Orientierung(swinkel) eines mit einem Körper(teil) oder einem inertialen 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer verbundenen Teilkoordinatensystems, sowie die Positionen und/oder Orientierungen

gen von weiteren Körperteilen, welche relativ zu diesem Teilkoordinatensystem erfaßt werden,

- daß zu den errechneten geometrischen Bestimmungsgrößen auch die zeitlichen Ableitungen zählen,
- daß die geometrischen Bestimmungsgrößen eines Körperteiles aus den Bestimmungsgrößen von mindestens einem benachbarten Körperteil sowie der Kenntnis der Gelenkanordnung und/oder dessen Bewegungsmöglichkeiten sowie repräsentanten Körperteilmaßen gewonnen wird, und somit an mindestens einem Körperteil mindestens eine Teilpositionssensorik oder ein inertialer 3-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer eingespart werden kann.

5 5. Eine Positionssensorik nach Anspruch 1, 2, 3, und 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie auf dem Ultraschall-Laufzeit-Abstandsprinzip, dem Ultraschall-Phasenprinzip, einer magnetischen Feldstärkemessung, einer elektrischen Feldstärkemessung, einer elektromagnetischen Wechselfeldmessung, einer Strahlstärkemessung, einer Schalldruckmessung, einem optischen Abbildungsprinzip, einer Licht-Phasenverschiebung bzw. Interferenzprinzip, einem Licht-Laufzeit-Prinzip einem Lichtstrahl-Triangulationsprinzip oder einer geeigneten Kombination von mindestens zwei der genannten Einzelprinzipien beruht.

10 6. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern und/oder deren Körperteilen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen nach Anspruch 1, 2, 3 und 4, dadurch gekennzeichnet,

- daß die Positionssensorik auf dem Ultraschall-Laufzeit-Abstandsprinzip beruht,
- daß eine an einem Körperteil angebrachte Teilpositionssensorik ein Ultraschallsender/-empfänger ist,
- daß als Bezugskörperteil der Leib (Torus) eines Menschen oder Tieres verwendet wird,
- daß eine am Bezugskörperteil angebrachte Teilpositionssensorik aus mindestens 3 nicht in einer Linie angeordneten Ultraschallempfängern/-sendern besteht, welche untereinander und zum Bezugskörperteil in bekannter geometrischer Beziehung stehen.

15 7. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern und/oder deren Körperteilen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen nach Anspruch 3, 4, dadurch gekennzeichnet,

- daß die Positionssensorik auf dem Ultraschall-Laufzeit-Abstandsprinzip beruht,
- daß eine an einem Körperteil angebrachte Teilpositionssensorik ein Ultraschallsender/-empfänger ist,
- daß als Bezugskörperteil der Leib (Torus) eines Menschen oder Tieres verwendet wird,
- daß eine am Bezugskörperteil angebrachte Teilpositionssensorik aus mindestens 3 nicht in einer Linie angeordneten Ultraschallempfängern/-sendern besteht, welche untereinander und zum Bezugskörperteil in bekannter geometrischer Beziehung stehen,
- daß eine weitere, am Bezugskörperteil angebrachte Teilpositionssensorik welche mit einer externen Teilpositionssensorik zusammenwirkt mindestens ein Ultraschallsender/-empfänger ist,
- daß eine externe Teilpositionssensorik aus mindestens 3 nicht in einer Linie angeordneten Ultraschallempfängern/-sendern besteht, welche in bekannter geometrischer Beziehung stehen.

20 8. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern und/oder deren Körperteilen sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet,

- daß die Positionssensorik auf dem Ultraschall-Laufzeit-Abstandsprinzip beruht,
- daß eine an einem Körperteil angebrachte Teilpositionssensorik ein Ultraschallsender/-empfänger ist,
- daß als Bezugskörperteil der Leib (Torus) eines Menschen oder Tieres verwendet wird,
- daß eine am Bezugskörperteil oder extern angebrachte Teilpositionssensorik aus mindestens 3 nicht in einer Linie angeordneten Ultraschallempfängern/-sendern besteht, welche in bekannter geometrischer Beziehung stehen.

25 9. Eine Teilpositionssensorik nach Anspruch 6, 7, 8 oder 17, dadurch gekennzeichnet,

- daß die sendende (emittierende) Ultraschall-Teilpositionssensorik mit dem emittierten Ultraschallimpuls gleichzeitig einen elektromagnetischen Triggerimpuls emittiert,
- daß die empfangende (detektierende) Ultraschall-Teilpositionssensorik zusätzlich über eine elektromagnetische Empfangskomponente verfügt,
- daß der empfangene elektromagnetische Triggerimpuls eine Laufzeitmessung des Ultraschallimpulses startet.

30 10. Eine Positionssensorik nach Anspruch 1, 2, 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus mindestens einem Erzeuger und mindestens einem Mehrkomponentendetektor von Magnetfeldern, oder mindestens einem Erzeuger und mindestens einem Mehrkomponentendetektor von elektrischen Feldern, oder mindestens einem Erzeuger und mindestens einem Mehrkomponentendetektor von elektromagnetischen Feldern besteht.

35 11. Eine Positionssensorik nach Anspruch 1, 2, 3 und 4, dadurch gekennzeichnet, daß sie aus mindestens einem Erzeuger und mindestens einem Mehrkomponentendetektor von Magnetfeldern, oder mindestens einem Erzeuger und mindestens einem Mehrkomponentendetektor von elektrischen Feldern, oder mindestens einem Erzeuger und mindestens einem Mehrkomponentendetektor von elektromagnetischen Feldern besteht, und zur Positionsbestimmung bei jeder Felderzeuger-Detektorkombination zusätzlich eine Abstandsmesseinrichtung mitverwendet wird.

40 12. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern oder Körperteilen, sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen, dadurch gekennzeichnet,

- daß an mindestens einem Bezugskörper(teil) eine beliebige Anzahl, geeignet geformter, stromdurchflossener Spulen- oder Leiterschleifen angebracht ist, von denen jede ein magnetisches oder elektromagnetisches Feld erzeugt,
- daß die Spulen- oder Leiterschleifen durch ihre Ausgestaltung und/oder Anordnung ein Bezugskoordinationssystem definieren,
- daß an mindestens einem (weiteren) Körper(teil) mindestens ein inertialer n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens ein Mehrkomponentendetektor für magnetische oder elektromagnetische Felder angebracht sind,
- daß die Messsignale von mindestens einem inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und von minde-

- stens einem Mehrkomponentendetektor einer Signal- und Datenverarbeitung zugeführt werden,
- daß der Datenverarbeitung fallweise die nötigen Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position von an beliebigen Körper(teil)en angebrachten inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und Mehrkomponentendetektoren sowie von repräsentativen Körper(teil)- bzw. Bezugskörper(teil)stellen eingegeben werden,
 - wobei die genannten Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position auf ein(en) Bezugskörper(teil), einen Körper bzw. ein Körperteil bezogen sind -,
 - daß die Datenverarbeitung aus den Signalen von mindestens einem inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens einem Mehrkomponentendetektor und den fallweise eingegeben Bestimmungswerten, mindestens eine von folgenden geometrischen Bestimmungsgrößen errechnet:
 - die Position und Orientierung von mindestens einem Körper(teil) oder
 - mindestens einen Körper(teil)punkt und/oder mindestens einen Repräsentanten von mindestens einem Körper(teil) oder
 - den Ursprung und die Orientierung(swinkel) eines mit einem Körper(teil) oder einem inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer verbundenen Teilkoordinatensystems, sowie die Positionen und/oder Orientierungen von weiteren Körper(teile)n, welche relativ zu diesem Teilkoordinatensystem erfaßt werden,
 - daß zu den errechneten geometrischen Bestimmungsgrößen auch die zeitlichen Ableitungen zählen.
13. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körperteilen eines Menschen, sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine stromdurchflossene Bezugsspule oder -leiterschleife am Körper angebracht oder um den Leib eines Menschen gewickelt ist.
14. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körperteilen, eines Menschen, sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet,
- daß mehrere stromdurchflossene Bezugsspulen- oder -leiterschleifen in definierter geometrischer Beziehung am menschlichen Körper angebracht sind und
 - daß jede der Bezugsspulen oder -Leiterschleifen für einen anderen Erfassungsbereich der geometrisch zu registrierenden Körperteile zuständig ist.
15. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern oder Körperteilen, sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen, dadurch gekennzeichnet,
- daß an mindestens einem Bezugskörper(teil) mindestens eine Einheit n linear unabhängig angeordneter Erzeuger von (elektro)magnetischen Wechselfeldern angebracht ist,
 - daß diese Einheit von n linear unabhängig angeordneten Erzeugern von (elektro)magnetischen Wechselfeldern ein Bezugskoordinatensystem definieren,
 - daß an mindestens einem weiteren Körper(teil) mindestens ein inertialer n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens ein Mehrkomponentendetektor für (elektro)magnetische (Wechsel)felder an gebracht sind,
 - daß die Signale des inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmers und des Mehrkomponentendetektors einer Signal- und Datenverarbeitung zugeführt werden,
 - daß der Datenverarbeitung fallweise die nötigen Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position von an beliebigen Körper(teil)en angebrachten inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und Mehrkomponentendetektoren sowie von repräsentativen Körper(teil)- bzw. Bezugskörper(teil)stellen eingegeben werden
 - wobei die genannten Bestimmungswerte der Orientierung und/oder Position auf ein(en) Bezugskörper(teil), einen Körper bzw. ein Körperteil bezogen sind -,
 - daß die Datenverarbeitung aus den Signalen von mindestens einem inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens einem Mehrkomponentendetektor und den fallweise eingegeben Bestimmungswerten, mindestens eine von folgenden geometrischen Bestimmungsgrößen errechnet:
 - die Position und Orientierung von mindestens einem Körper(teil) oder
 - mindestens einen Körper(teil)punkt und/oder mindestens einen Repräsentanten von mindestens einem Körper(teil) oder
 - den Ursprung und die Orientierung(swinkel) eines mit einem Körper(teil) oder einem inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer verbundenen Teilkoordinatensystems, sowie die Positionen und/oder Orientierungen von weiteren Körper(teile)n, welche relativ zu diesem Teilkoordinatensystem erfaßt werden,
 - daß zu den errechneten geometrischen Bestimmungsgrößen auch die zeitlichen Ableitungen zählen.
16. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern oder Körperteilen, sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen dadurch gekennzeichnet, daß in definierter geometrischer Beziehung zu der (den) Bezugsspule(n)- oder -leiterschleife(n) (entsprechend Anspruch 12, 13, 14) bzw. zu den n linear unabhängigen Erzeugern von (elektro)magnetischen Wechselfeldern (entsprechend Anspruch 15) ein inertialer n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und wahlweise zusätzlich mindestens ein Positionsanteil einer Positionssensorik - bestehend aus externen und körperbefestigten Komponenten - am Körper angebracht sind, wodurch die geometrischen Bestimmungsgrößen der relativ zum Körper (z. B. Torso) erfaßten Körperteile auf ein externes Koordinatensystem oder ein ausgewähltes Orientierungssystem transformiert werden können.
17. Eine Positionssensorik nach einem der Ansprüche 12, 13, 14, 15, 16, dadurch gekennzeichnet,
- daß mindestens eine Abstandmeßeinrichtung welche auf dem Ultraschall-Laufzeit-Prinzip beruht zur Positionsbestimmung mitverwendet wird, und
 - daß der(die) eine(n) Teil(e) der Abstandmeßeinrichtung in bekannter geometrischer Beziehung zu der(n) Bezugsspule(n)-Leiterschleife(n) (entsprechend Anspruch 12, 13, 14) bzw. zu den n linear unabhängigen Erzeugern von (elektro)magnetischen Wechselfeldern (entsprechend Anspruch 15) stehen, und
 - der(die) andere(n) Teil(e) der Abstandmeßeinrichtung in bekannter geometrischer Beziehung zu dem(n) Mehrkomponentendetektor(en) steht(en), welche an einem Körper(teil) angebracht sind.

18. Eine Methode zur Bestimmung der räumlichen Lage von Körpern oder Körperteilen nach einem der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, dadurch gekennzeichnet,

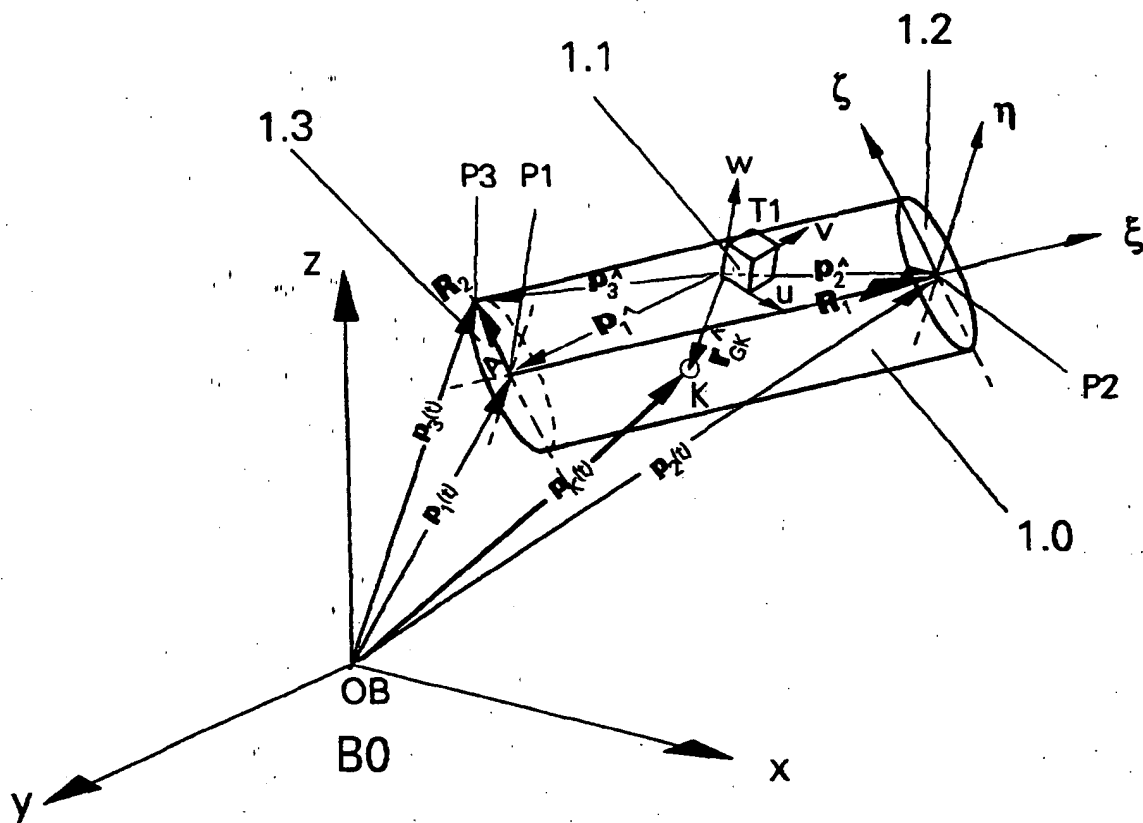
- daß, die Signal- und die Datenverarbeitung am Körper oder einem Körperteil angebracht sind, und die Werte der geometrischen Bestimmungsgrößen über ein bidirektionales Bussystem einer anwendungsbezogenen Weiterverarbeitung zugeführt werden,
- daß über das bidirektionale Bussystem, von extern Daten an die körperbezogene Datenverarbeitung übermittelt werden können,
- daß das bidirektionale Bussystem sowohl leitungsgebunden als auch kabellos funktionieren kann.

19. Ein Gerät zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern oder Körperteilen nach einem der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, dadurch gekennzeichnet, daß eine Kombination von inertialem n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer und mindestens einem Teil einer Positionssensorik in einem Gerät zusammengefaßt sind.

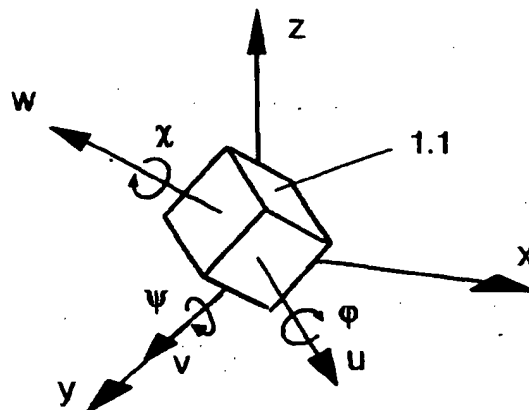
20. Methode zur Steuerung von Geräten, Maschinen, Apparaten und Instrumenten durch Körperteile nach einem der Ansprüche 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine - entsprechend den Ansprüchen 1, 2, 3, 4, 12, 13, 14, 15, 16, 17 - errechnete geometrische Bestimmungsgröße körperexternen Geräten, Maschinen, Apparaten und Instrumenten zugeführt wird, und nach anwendungsbezogener Umwandlung diese Geräte, Maschinen, Apparate und Instrumente steuert.

21. Eine Methode zur Erfassung der räumlichen Lage- und/oder Bewegung von Körpern oder Körperteilen, sowie der Ausbildung von Teilkoordinatensystemen dadurch gekennzeichnet, daß an einem Körper mindestens ein inertialer n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmer befestigt ist, und daß mindestens zwei Kameras die Position des inertialen n-Achs-Orientierungs-Messaufnehmers erfassen, so daß in Verbindung mit einem geeigneten Rechenprogramm die räumliche Lage und Bewegung von ausgewählten Körperstellen bzw. Körperteilen bestimmt werden kann.

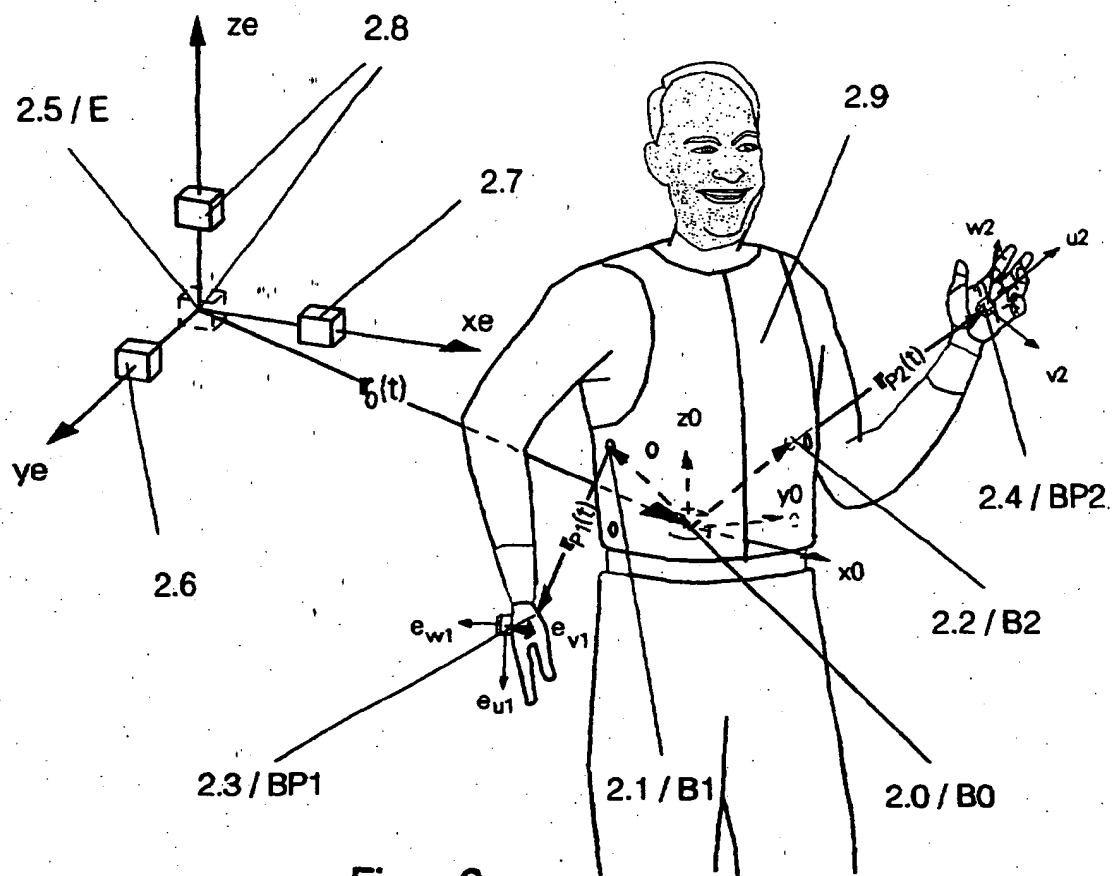
Hierzu 6 Seite(n) Zeichnungen



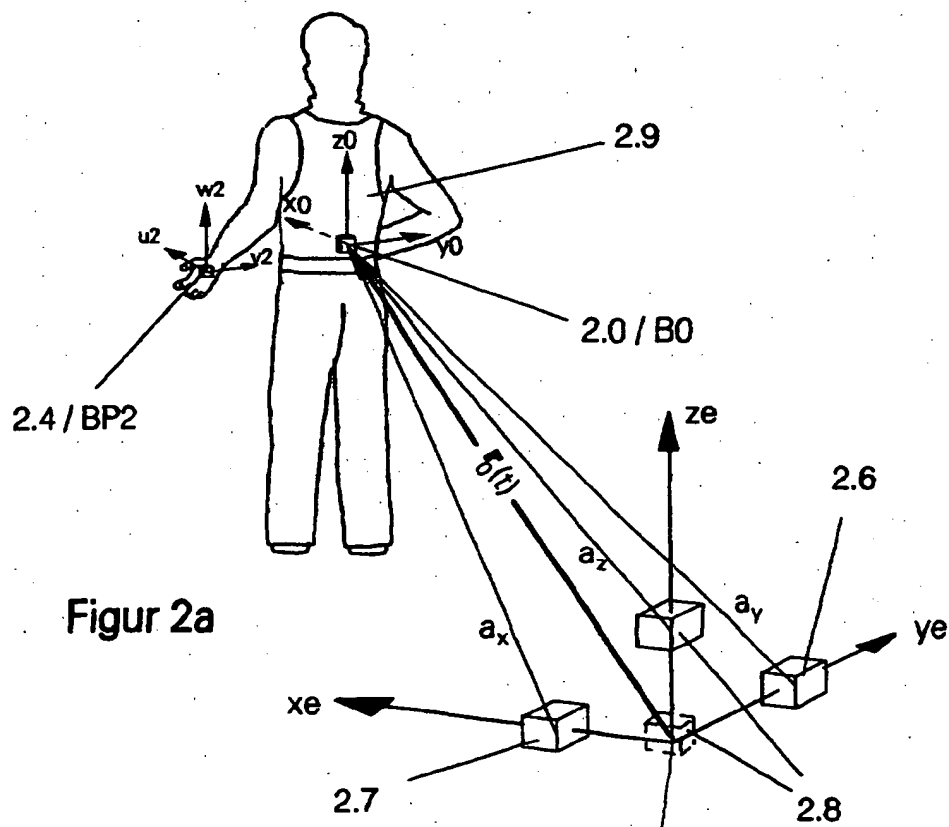
Figur 1



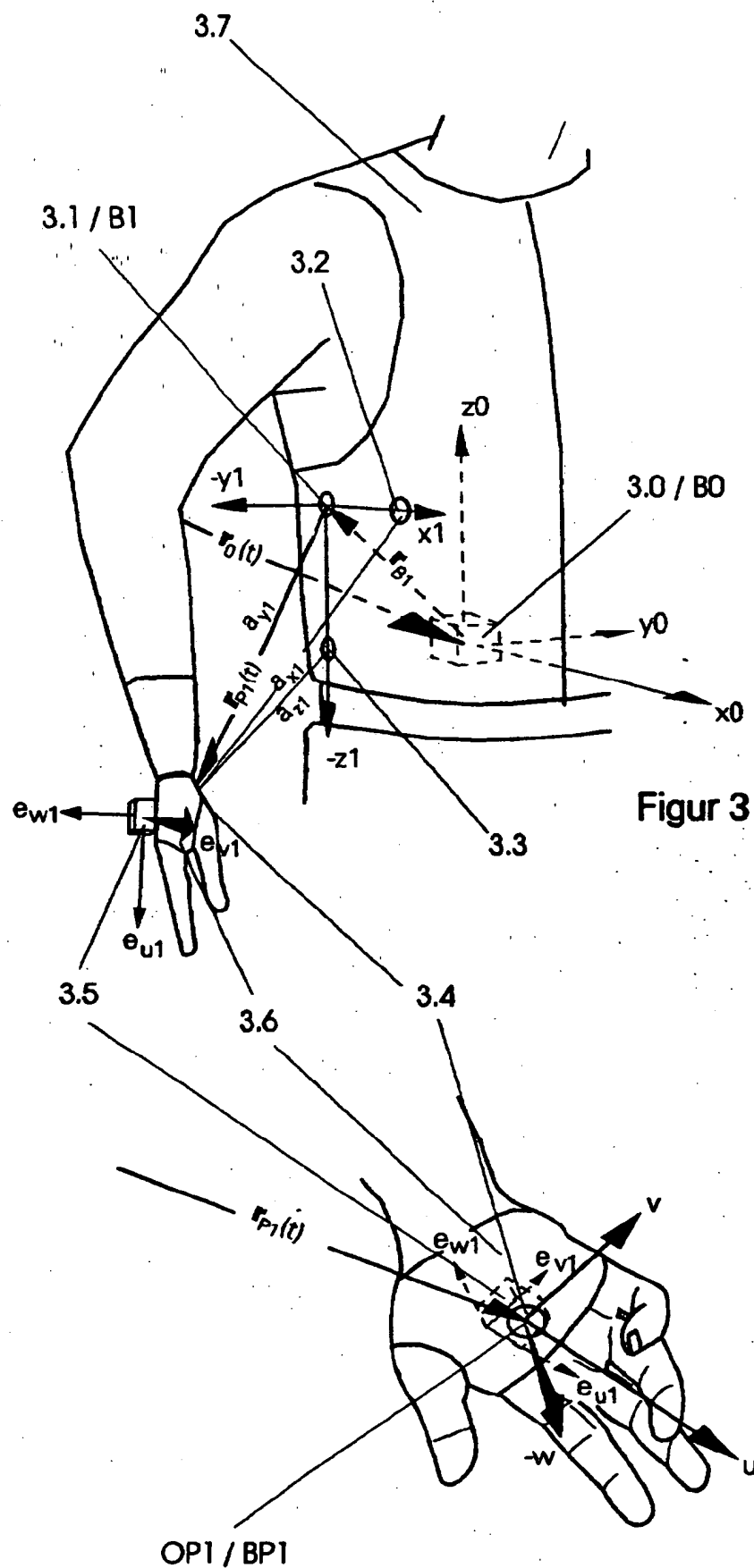
Figur 1a



Figur 2

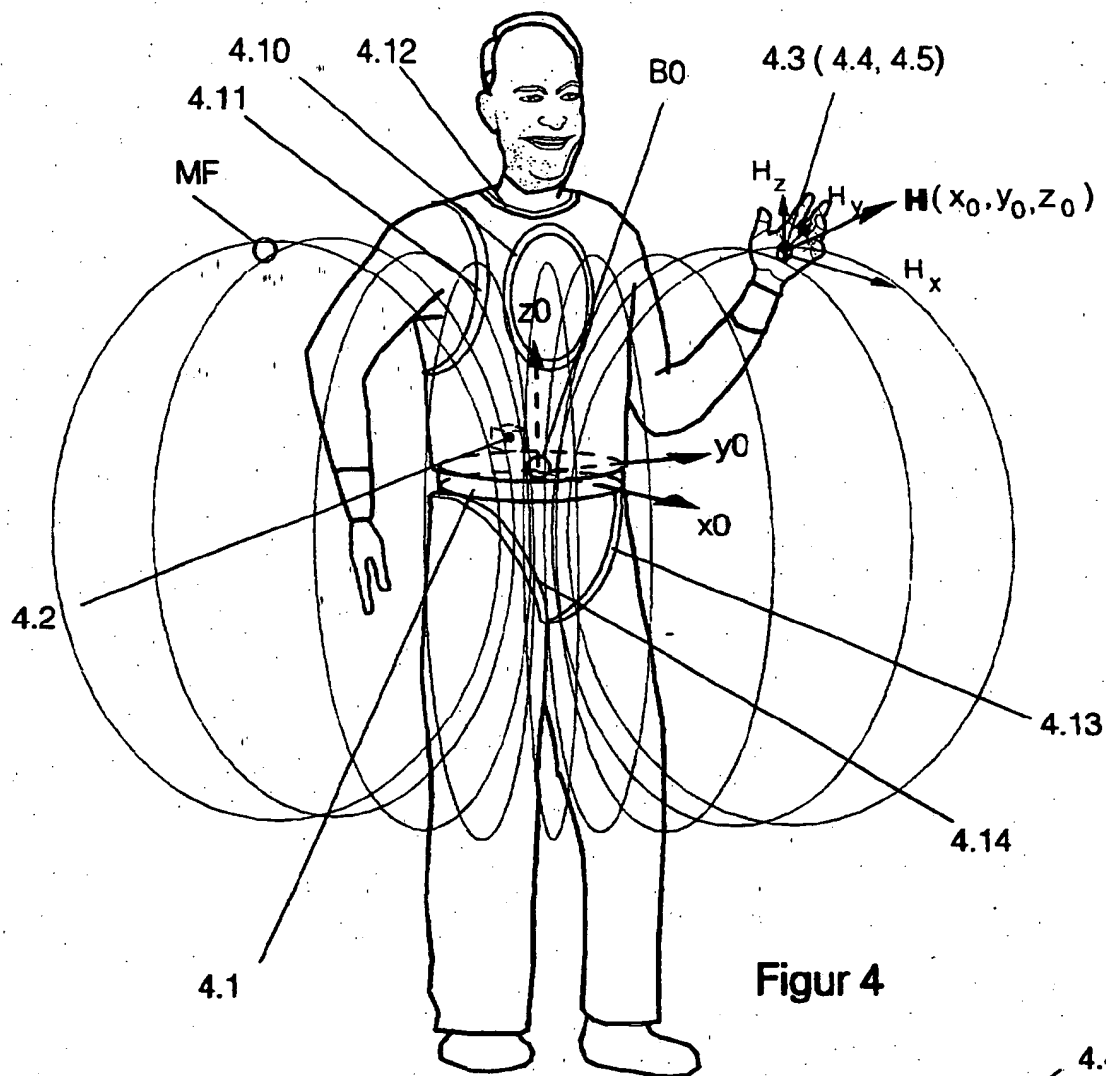


Figur 2a

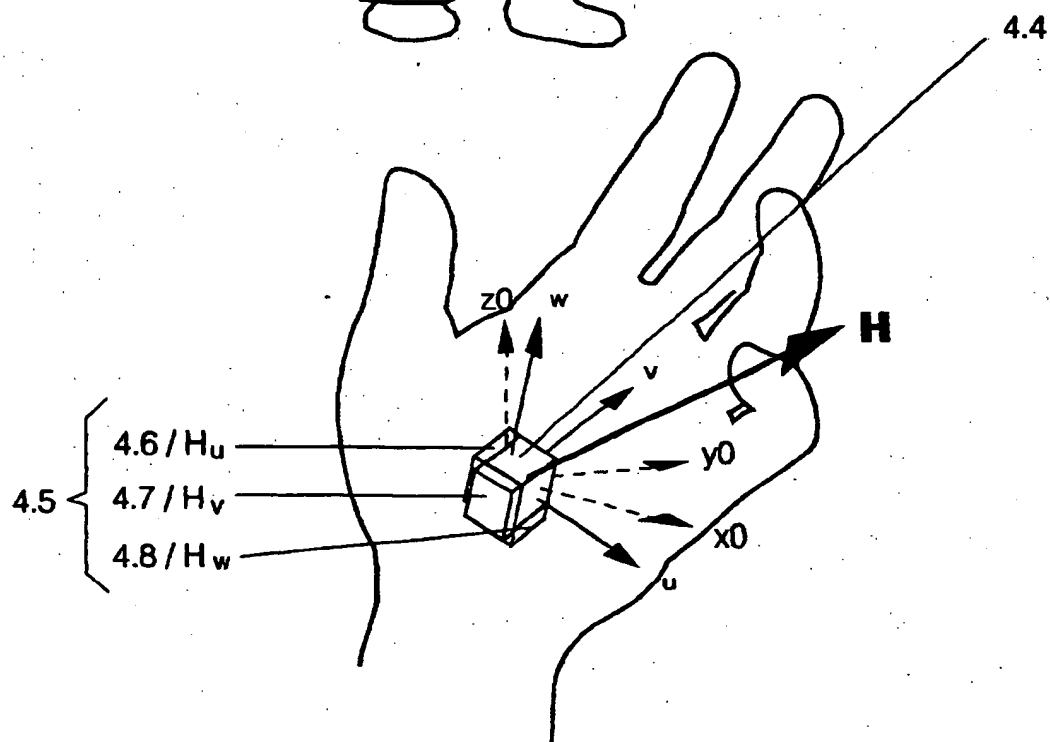


Figur 3

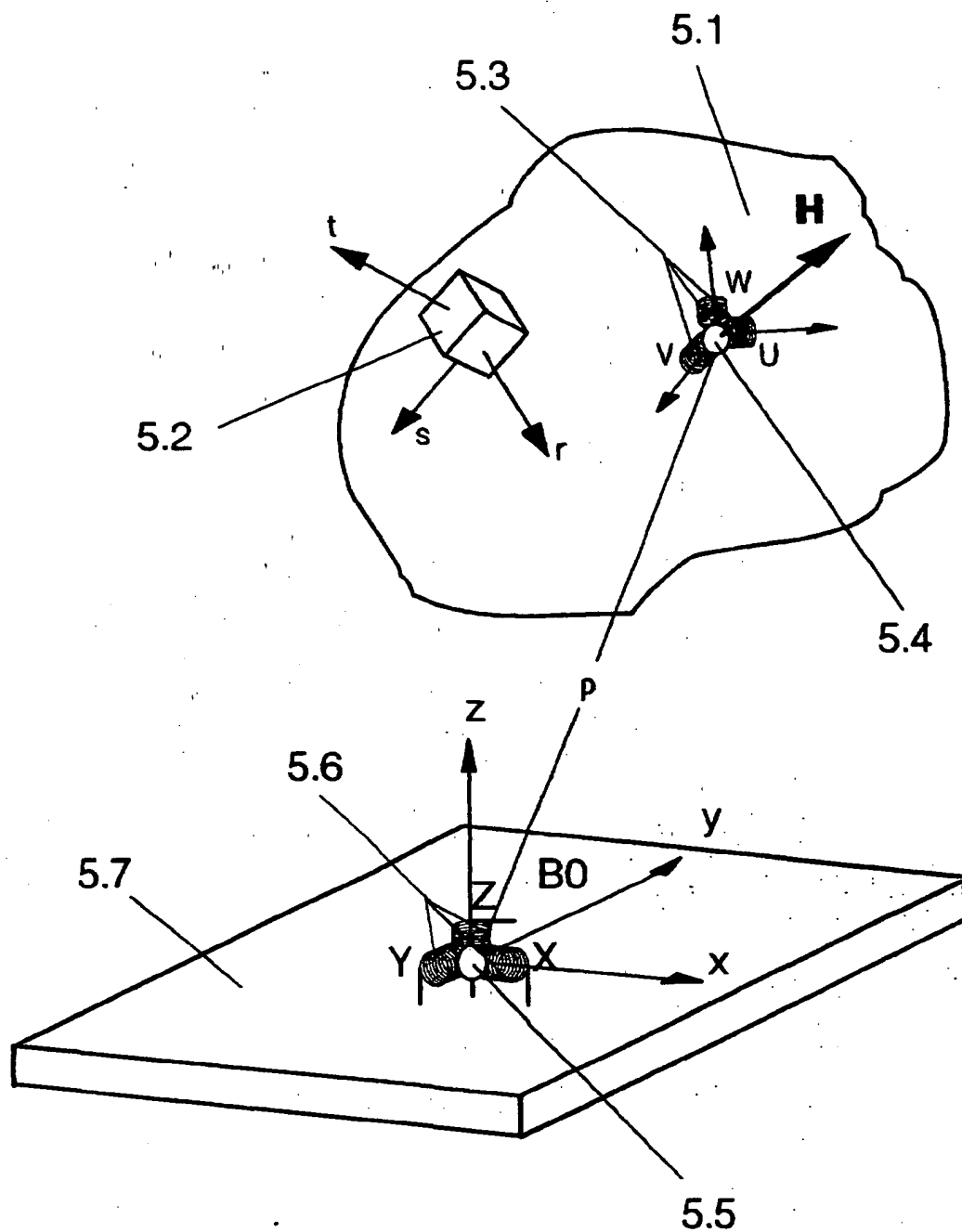
Figur 3a



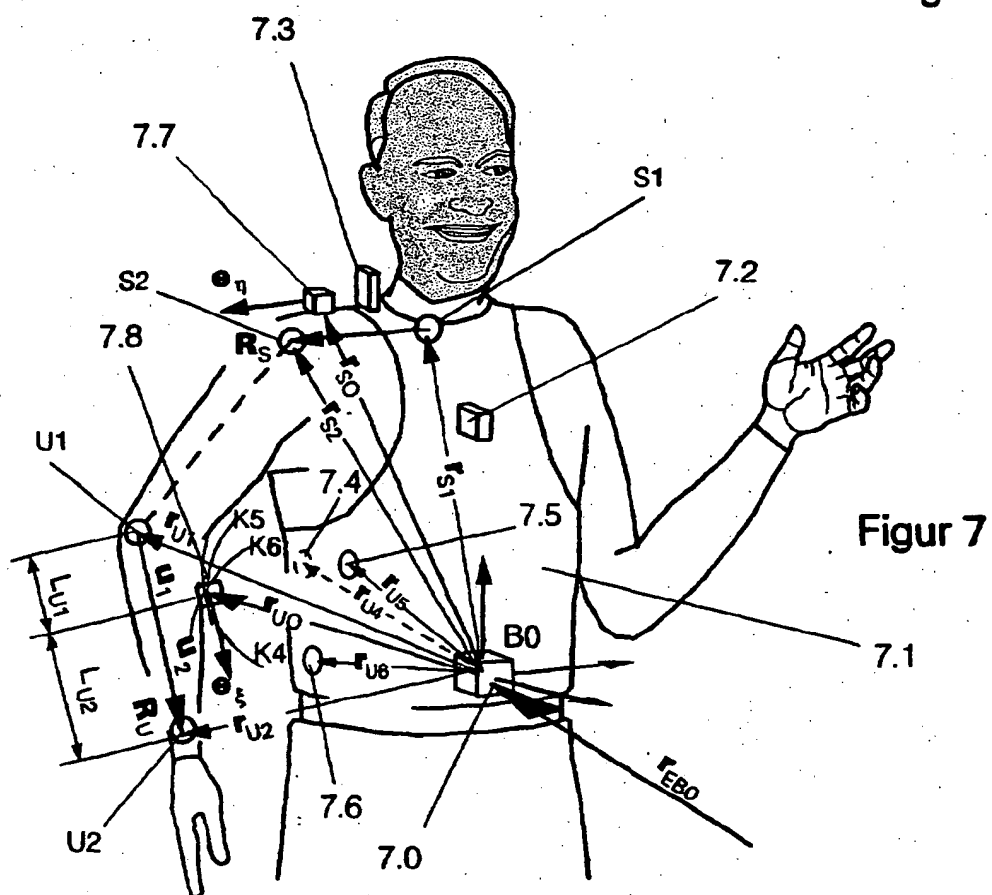
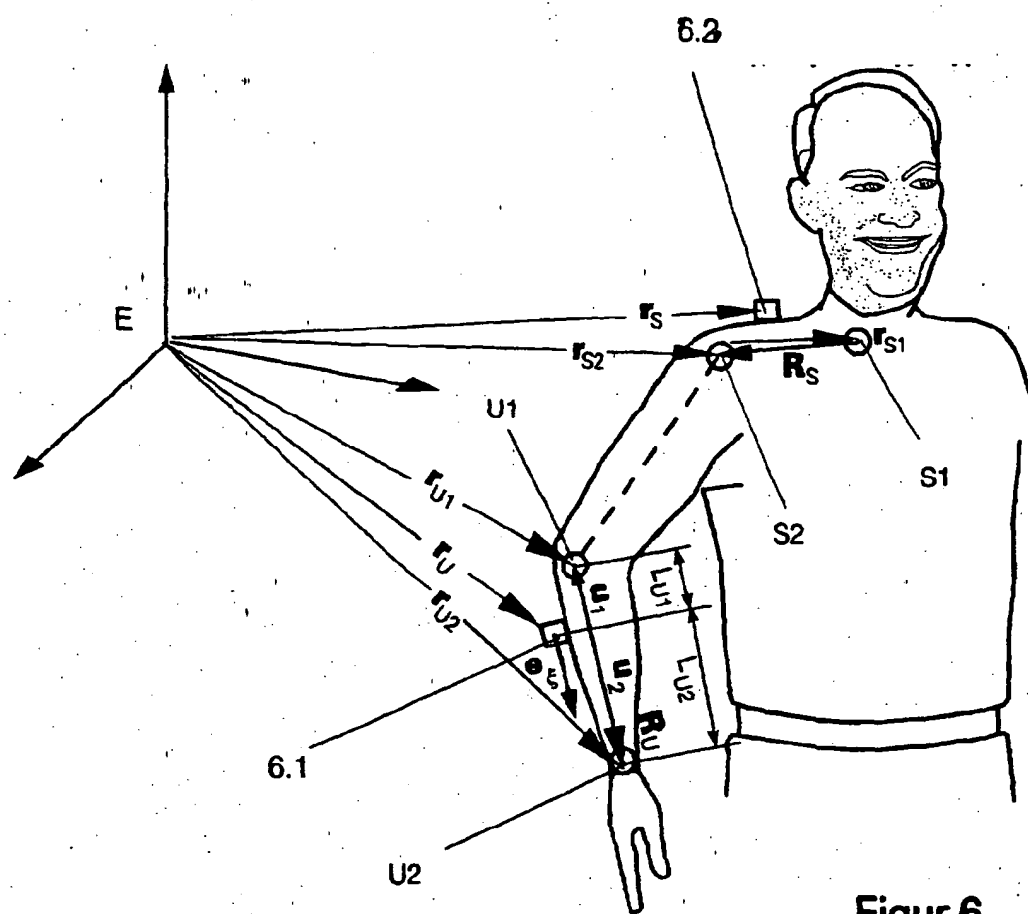
Figur 4



Figur 4a



Figur 5



Spatial position and movement determination of body and body parts for remote control of machine and instruments

Patent number: DE19830359
Publication date: 2000-01-20
Inventor: ZWOSTA HELGE (DE)
Applicant: ZWOSTA HELGE (DE)
Classification:
- international: G01D21/02; G01B21/04; G01C19/64; G01P9/04;
G12B21/20; G06F3/00
- european: G01C21/16, G01S15/87C, G06F1/16P5, G06F3/00B8
Application number: DE19981030359 19980707
Priority number(s): DE19981030359 19980707

Abstract of DE19830359

Inertial three axis orientation measurement device (1.1) and position sensor are located on body part. Position sensor is positioned on reference body part. Signals from measurement device and sensor are fed to signal and data processing unit. Position and orientation of body part is determined relative to coordinate system defined on reference body part and source and orientation angle of coordinate system connected with body part or measurement device.

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

DE 198 30 359 A1

Page 2, lines 3 to 16

A large number of applications such as: remote control of machines and instruments by human limb actions, position and movement control of machines and robots, movement control of athletes and patients in rehabilitation, human interaction with virtual environments (cyberspace), conversion of body movements into music and light effects (entertainment), detection of human movement sequences in the production process, training in respect of complex manual activities, position and movement control of manufactured parts in space, etc. form the object of the position detection of body points, the position determination of body parts and bodies and the movement detection thereof in space.

1) Prior art and disadvantages

Said object is currently achieved within the context of detecting human body movements under the terms "motion capture" or "body tracking" by means of the following methods.

Page 4, lines 56-58

The determination of the desired angular position must then be effected by means of temporal integration of the angular velocity components. The angle obtained at a given time t is then measured relative to the axial alignment in space, which was $t = 0$ at the start of measurement.

Page 6, lines 45-64

Fig. 2 and Fig. 2a provide an overview of the arrangement and configuration in principle of the combination of inertial orientation measurement devices and position sensor systems, and Figs. 3 and 3a show associated

details. In Fig. 2, a combination sensor system 2.0 consisting of gyro and part of the external position sensor system 2.5/E is fitted in the rear part of a rigid vest 2.9, which combination sensor system allows spatial position determination of the vest 2.9 (see above "2. Position determination of a body in space..."). Moreover, the main body coordinate system B0 is represented by the combination sensor system 2.0. (NB. it is in the nature of things that a position sensor system usually has two main parts: a generating-emitting part and a receiving-detecting part. If a position sensor system is described in general terms, despite the large number of methods and configurations it is not possible to predict from the outset at which point which functional part - emitter or detector - is located; this is decided by the subsequent concrete configuration. A position sensor system may moreover comprise a number of distance sensors, which consist of either one emitting component and a number of detecting components or vice versa. On account of the highly varied nature of a position sensor system, the terms position part or part-position sensor will be used below when the abstract description allows both functions - emitter and detector - and when the configuration leaves it open as to whether a single-part or multi-part component is concerned.)

In the "flanks" of the rigid vest 2.9 there are the part-position sensors 2.1 and 2.2 which are responsible for the left and right halves of the body and which define the body-based part-coordinate systems B1 and B2. On the hands there are two further combination sensor systems 2.3 and 2.4 which likewise consist in each case of a gyro and a position part. These two combination sensor systems 2.3 and 2.4 on the one hand allow spatial position determination of the two hands (e.g. $r_{p1}(t)$, e_{u1} , e_{v1} , e_{w1}) and on the other hand in each case define a further subcoordinate system

(e.g. BP2, u2, v2, w2) by converting the measured gyro angles ϕ , ψ , χ .

Page 7, line 26 to page 8, line 1

This case is given in sports physiology. In this case, the aim is often to detect the movement sequences or spatial position of athletes' body parts. The position of the athlete is often of no significance. In such a case, therefore, the external reference may be omitted. The spatial position of the body parts is then based on a main body coordinate system B0 which may be aligned with the orientation of a desired reference system at the start of measurement. In this application, the data may either be transmitted to a remote evaluation unit or be stored for further evaluation on the body. In case C), the external position sensor system 2.5/E and hence also the position part of the combination sensor system 2.0 are thus omitted (see Fig. 2).

One form of the practical configuration of external and body-based position detection of the combination sensor systems 2.0, 2.3 or 2.4 may be realized by means of ultrasound propagation time distance measurement. Knowing the mutual spatial position of the three ultrasound receivers 2.6, 2.7, 2.8, the spatial position of the ultrasound transmitter belonging to the combination sensor system 2.0 can be determined from the three distances a_x , a_y , a_z in Fig. 2a (= rear view). The ultrasound propagation time distance measurement forms part of the prior art and is therefore not explained in any more detail (reference is made at this point to patent DE 34 06 179 "Device for measuring the position and movement of at least one measurement point" and to laid-open specification DE 196 32 273 A1 "Body sensor system"). In Figs. 2 and 2a, the three ultrasound receivers may also lie in one plane (dashed variant of ultrasound receiver 2.8). As an alternative to the ultrasound propagation time distance method, it would

also be possible to use one of the cited optical measurement methods for the external position detection of combination sensor system 2.0.

Fig. 3 shows an enlargement of a section of the right half of the upper body. Fitted to the wearer's back is the combination sensor system (gyro plus position part) 3.0 which makes it possible to determine the spatial position of the rigid vest 3.7 with respect to an external coordinate system and moreover defines the main body coordinate system B_0 . In order to counteract hidden areas during external position detection, it is useful to place a second such combination sensor system or just a second position part on the rigid vest 3.7 in a spatially defined position relative to the first one. It should be pointed out here once again that the position part and the gyro of a combination sensor system do not need to be accommodated in a common housing. The three ultrasound receivers 3.1, 3.2, 3.3 are arranged in the flanks of the rigid vest 3.7 such that they can define a coordinate system B_1 (x_1 , y_1 , z_1). In Fig. 3, the coordinate origin of B_1 is the ultrasound receiver 3.1 which on account of the rigidity of the vest 3.7 is connected by the constant vector r_{B_1} to the origin of the main body coordinate system B_0 .

Fitted to the wearer's right hand is a further combination sensor system. The latter consists of the gyro 3.5 which is fitted to the back of the hand and an ultrasound transmitter 3.4 (= position part) on the inner surface of the hand. Gyro 3.5 and ultrasound transmitter 3.4 are connected to one another by a rigid skin 3.6 so that there is a clear spatial relationship between the gyro 3.5 and the position part 3.4 (see the enlargement of a section in Fig. 3a). The spatial position of the rigid skin 3.6 - and hence of the right hand - is then clearly determined by the orientation vectors e_{u1} , e_{v1} , e_{w1} supplied by the gyro 3.5 (after conversion) and by the vector $r_{P1}(t)$ supplied by the position sensor systems 3.1, 3.2, 3.3, 3.4.

The vector $r_{p1}(t)$ is determined by means of an ultrasound propagation time distance measurement from the distances a_{x1} , a_{y1} , a_{z1} - as is known. Since the orientation of a gyro 3.5 can be freely determined by its "start orientation", only the coordinates of $r_{p1}(t)$ have to be transformed to the selected reference system (B0 or E), since it is assumed that the gyro 3.5 was aligned with respect to the respective reference system at the start of measurement. If the external coordinate system E is selected as reference coordinate system, the transformation reads

$$r_{HR}(t) = r_0(t) + r_{B1} + r_{p1}(t).$$

If the main body coordinate system B0 is the selected reference system, the transformation reads

$$r_{HR}(t) = r_{B1} + r_{p1}(t).$$

Page 8, line 11 to page 9 line 60

Fig. 4 shows a combination of magnetic field and gyro for determining the position of the hands. A rigid coil 4.1 which is flowed through by current is fitted around the person's body, which coil generates the magnetic field MF. By means of its geometric configuration, this coil defines the main body coordinate system B0 (x_0 , y_0 , z_0), the spatial position of which with respect to an external coordinate system is detected by the combination sensor system 4.2 consisting of 3A gyro and position part.

A combination sensor system 4.3 consisting of 3A gyro 4.4 and 3-component magnetic field detector 4.5 (referred to below as 3C magnetic field detector) is then fitted to each of the person's hands. Detecting the orientation of the gyro 4.4 relative to the main body coordinate system B0 makes it possible to relate the three magnetic field components detected at the "hand" measurement location. It should be recalled here that a gyro can be aligned to any

reference system by means of its "start orientation". Therefore, the combination sensor system 4.3 will be aligned in an axis-parallel manner with the main body coordinate system B_0 (x_0, y_0, z_0) prior to the start of measurement in order to place the measured magnetic field components in relation to B_0 . In the most general form, the Biot-Savart law applies in respect of calculating the magnetic field strength $H(r)$ of a conductor (see, for example, "Kleine Enzyklopädie der Physik, page 86", Verlag Harry Deutsch)

$$dH = Jds \times (r - s)/4\pi lr - sl^3.$$

From this we obtain, for a circular conductor loop with coordinate origin in the centre of the circle, radius $R_0 = s$, current J , the field strength H at the location r (x_0, y_0, z_0), by integration over the conductor loop

$$H = S Jds \times (r - R_0)/4\pi lr - R_0l^3 \quad (2)$$

with the components of H (S = sign of integration).

$$H_x = J/4\pi S \{ z_0 R_0 \cos\varphi / [(x_0 - R_0 \cos\varphi)^2 + (y_0 - R_0 \sin\varphi)^2 + z_0^2]^{-3/2} \} d\varphi \quad (2.1)$$

$$H_y = J/4\pi S \{ (z_0 R_0 \sin\varphi / [(x_0 - R_0 \cos\varphi)^2 + (y_0 - R_0 \sin\varphi)^2 + z_0^2]^{-3/2} \} d\varphi \quad (2.2)$$

$$H_z = J/4\pi S \{ (-y_0 R_0 \sin\varphi - x_0 R_0 \cos\varphi + R_0^2) / [(x_0 - R_0 \cos\varphi)^2 + (y_0 - R_0 \sin\varphi)^2 + z_0^2]^{-3/2} \} d\varphi \quad (2.3)$$

where the integration over the conductor loop has to take place from $\varphi = 0$ to $\varphi = 2\pi$.

These relations apply in respect of the magnetic field components H_j relative to the coil coordinate system B_0 of the field-generating coil.

In the enlargement of a section (Fig. 4a), the 3 orthogonal magnetic field detectors 4.6/ H_u , 4.7/ H_v , 4.8/ H_w are fixedly bound to the orientation detection of the 3A gyro 4.4 on account of them being accommodated in a common housing. The magnetic field detectors may be based on various principles (e.g. the magnetoresistive principle or the Hall-effect principle). However, the magnetic field components H_u , H_v , H_w measured by the detectors are not related to the coil coordinate system B_0 . The relation is only brought about by the 3A gyro 4.4 which detects the orientation angle a_{mn} of the 3C magnetic field detector 4.5 with respect to B_0 by virtue of the common alignment. The measured field components H_u , H_v , H_w must therefore be subject to a rotation matrix $D(t)$, which transforms them into the "correct" orientation, hence

$$H_0 = D(t) \cdot H_1 \quad (3)$$

or into components

$$H_x(t) = a_{11}(t)H_u(t) + a_{12}(t)H_v(t) + a_{13}(t)H_w(t) \quad (3.1)$$

$$H_0(t) = H_y(t) = a_{21}(t)H_u(t) + a_{22}(t)H_v(t) + a_{23}(t)H_w(t) \quad (3.2)$$

$$H_z(t) = a_{31}(t)H_u(t) + a_{32}(t)H_v(t) + a_{33}(t)H_w(t) \quad (3.3)$$

where the a_{mn} are the cosines of the 9 axis angles between reference system and gyro system.

Once the magnetic field components H_x , H_y , H_z have been determined, the sought coordinates (x_0, y_0, z_0) must be calculated therefrom via relations (2.1), (2.2), (2.3). Since no analytical method for solving equations (2.1), (2.2), (2.3) for the sought coordinates (x_0, y_0, z_0) is known, the following comparative method may be used to obtain the sought coordinates. The magnetic field strengths of a large number of positions in the detection range are

calculated and partially checked by measuring. In a detection range of $2 \times 2 \times 2$ m, $8,000,000 \cdot 3$ calculated values are obtained for the magnetic field components when a detection grid of 1 cm^3 is desired. The sought coordinates (x_0, y_0, z_0) are then obtained by comparing measured and calculated field components. In order to increase the detection accuracy, a fine resolution can then be carried out in close proximity to the coil with a grid of 1 mm^2 (calculation of $10 \times 10 \times 10 \times 3 = 3000$ further field component values). In order to save calculation time, during comparison formation it will not be the entire detection grid that will be sampled but rather only the immediate surroundings of the last known position of the magnetic field sensor. For this purpose, at the start of measurement a defined start position will be used as a basis, at which alignment of the gyro orientation takes place at the same time. It is possible for the magnetic coils 4.10 to 4.14 to be arranged differently on the body. Given a known geometric relation of the coils, the various detection ranges of the individual coils may be optimally used, depending on the position of the hand. Of course, the individual coils must be excited in rapid sequence one after the other (multiplexing) or else for each program only the coil which supplies the highest detector resolution for the current position of the 3C magnetic field sensor 4.5 is flowed through by current.

The method can also be used at close range - e.g. above a table - if a reference coil such as 4.1 is fitted to the reference object (table) and the 3C magnetic field detectors and the 3A gyro are fitted to the body that is to be detected. (As in Fig. 5.) Instead of the magnetic field MF, a combination of 3A gyro and electrical field is also possible. The "detector" to be used in this case may be configured both for field strength measurement and for potential measurement.

The following example of embodiment combines a magnetic field measurement with a 3A gyro measurement and an ultrasound propagation time distance measurement. According to US patent 4,054,881 "Remote object position locator", the position $r(x, y, z)$ of a point in space is linked by the root mean squares P_i of the magnetic field components of orthogonal conductor loops (loop antennas) excited by AC current through the equations

$$P_z = 1/2 \cdot C^2(\rho) [1/4(x/\rho)^2 + 1/4(y/\rho)^2 + (z/\rho)^2] \quad (4.1)$$

$$P_x = 1/2 \cdot C^2(\rho) [(x/\rho)^2 + 1/4(y/\rho)^2 + 1/4(z/\rho)^2] \quad (4.2)$$

$$P_y = 1/2 \cdot C^2(\rho) [1/4(x/\rho)^2 + (y/\rho)^2 + 1/4(z/\rho)^2] \quad (4.3)$$

(for distances $\rho >$ conductor loop diameter). This is therefore a quasi-scalar field in the sense of 3.2.3.2.

Where each component P_i is obtained from the measured components $P_{i/j}$ of an orthogonal 3-component field detector by

$$P_z = P_{z/u} + P_{z/v} + P_{z/w} \quad (5.1)$$

$$P_x = P_{x/u} + P_{x/v} + P_{x/w} \quad (5.2)$$

$$P_y = P_{y/u} + P_{y/v} + P_{y/w} \quad (5.3).$$

Equations (4.1), (4.2), (4.3) are to be solved for the sought coordinates (x, y, z) only when the distance ρ between the reference conductor loops and the measurement point has been determined by calculation (see US patent 4,314,251, column 16) or a separate distance measurement (e.g. by means of ultrasound).

Fig. 5 shows a configuration of a test set-up for detecting the spatial position of bodies. Fitted to the body 5.1 that is to be detected is a 3A gyro 5.2, the axes

r , s , t of which define the spatial orientation of the body 5.1. At another location on the body 5.1 there is fitted a 3C magnetic field detector 5.3, the orthogonal measurement devices U , V , W of which (which are designed as coils) measure said field components $P_{i/j}$ in order to determine therefrom the position of the coil centre. (NB. In Fig. 5, coils are used instead of conductor loops since coils can be shown better in perspective and also perform the function in principle.) The 3A gyro 5.2 and 3C magnetic field detector may - as in Fig. 4 - also be accommodated in a common housing. In the centre of the three coils U , V , W there is an ultrasound transmitter 5.4 which together with the ultrasound receiver 5.5 located at the origin of the reference system B_0 determines the distance p . The reference system B_0 (x , y , z) is formed by the orthogonal arrangement of the field generator 5.6, which consists of three exciter coils X , Y , Z and generates the oscillating magnetic field (= electromagnetic field). The three exciter coils are flowed through one after the other by a known AC current i in order to be able to measure the root mean squares P_i of the magnetic field strengths H , which are required for position determination on the body 5.1. Since the position of the body is determined from three fields which are excited one after the other, the change to the respective coil which is excited next must of course take place within a correspondingly short time in order to keep tolerances caused by the movement of the body as low as possible. In the example of embodiment shown in Fig. 5, the reference system is arranged in the centre of a table 5.7, which may be used by this device as a "virtual workbench". The body 5.1 may also be a data glove provided with a combination sensor system consisting of 3A gyro and 3C magnetic field detector, said glove being worn by a person working at the "virtual workbench".

Page 12, lines 7 to 16

Gyro is the abbreviation for gyroscope and denotes technical measuring devices for detecting rotations. Within the context of the invention, this rotation detection relates to a coordinate system or coordinate axis defined once. Since the detection of the spatial orientation of a body requires three angles of rotation about the coordinate axes, a 3-axis gyro (3A gyro for short) is needed. Within the context of this patent application, gyro is also the term used for inertial orientation measurement devices.

- Combination sensor system

Within the context of the present invention, the term combination sensor system is understood to mean a combination of inertial orientation measurement device (gyro) and a part-position sensor system.